

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP  
ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES



Projet de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme  
d'Ingénieur de Conception - Option Génie Civil

GC.0135

TITRE :

*Etude de ruissellement et  
aménagement de points bas  
à Dakar.*

**Auteur** : Maïmounatou NDIAYE

**Directeur** : Amadou SARR

Juin 1996

*À mes très chers parents;*

*À mes frères et soeurs;*

*Et à tous mes amis.*

## REMERCIEMENTS

Toute ma gratitude et ma reconnaissance s'adressent à Monsieur **Amadou SARR**, mon Directeur de Projet, Professeur à l'Ecole Polytechnique de Thiès, pour son entière disponibilité.

Je remercie aussi très sincèrement Mme **Astou CISSE**, Secrétaire au Département Génie Civil ainsi que tous ceux qui de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce projet.

## SOMMAIRE

Chaque année, pendant la saison des pluies, l'inondation de la route des Niayes située près de l'échangeur du stade de l'Amitié entrave la circulation avec comme conséquence de graves désordres sur la chaussée.

C'est pour ces raisons que la Direction des Travaux Publics voudrait qu'on leur fasse des études de drainage du point bas en proposant des solutions permettant d'éviter des stagnations d'eau sur la chaussée.

L'étude s'est articulée autour de deux points :

1- L'étude de ruissellement : cette phase a pour but d'évaluer la capacité des ouvrages futurs (collecteurs, bassins de rétention, avaloirs) elle est divisée en trois parties :

- l'étude pluviométrique qui consiste à l'établissement des courbes intensité-durée-fréquence et le calcul des orages synthétiques ou orages modèles pour les périodes de retour 1 an, 2 ans, 5 ans, 10 ans, et 20 ans ;
- l'étude topographique pour la délimitation du bassin versant et des sous-bassins ainsi que le calcul des caractéristiques physiographiques des sous-bassins ;
- L'étude des types de sol et de l'occupation : la première est une étude sommaire pour déterminer les types de sols ce qui permettra une estimation de leur perméabilité, et la seconde basée sur une carte d'occupation des sols renforcée par des visites sur le terrain, vise à

déterminer les pourcentages d'imperméabilisation des différents sous-bassins.

- l'évaluation des débits de pointe, basée sur la synthèse des résultats précédents permettra de déterminer la capacité des ouvrages futurs avec l'utilisation de 2 méthodes, la méthode S.C.S et la méthode rationnelle.

2- Les propositions d'aménagement : en fonction des résultats de l'étude du ruissellement, la solution proposée est basée sur un écoulement purement gravitaire avec trois bassins de retenues au niveau des points bas et un collecteur principal qui déverse vers les Niayes.

# TABLE DES MATIERES

	PAGES
REMERCIEMENTS.....	I
SOMMAIRE.....	II
TABLE DES MATIERES.....	IV
ANNEXES.....	VII
LISTE DES FIGURES.....	VIII
LISTE DES TABLEAUX.....	IX
LISTE DES PLANS.....	XI
INTRODUCTION.....	1
<b>CHAPITRE I: ETUDES PLUVIOMETRIQUES</b>	
1.1 : Introduction.....	2
1.2 : Les données de base.....	2
1.3 : Traitement des données de base.....	4
1.3.1 : Analyse de type "Intensité - Durée - Fréquence".....	4
1.3.1.1 : Dépouillement des pluviogrammes.....	4
1.3.1.2 : Analyse statistique des résultats.....	6
1.3.1.3 : Etablissement des courbes intensité-durée-fréquence.	12
1.3.2 : Analyse statistique des pluies journalières .....	
maximales annuelles.....	23

1.4 : Calcul des orages synthétiques pour différents .....	
périodes de retour.....	30

## **CHAPITRE II : ETUDE TOPOGRAPHIQUE**

2.1 : Introduction.....	37
2.2 : Délimitation du bassin versant.....	37
2.3 : Caractéristiques physiographiques du bassin versant.....	
et des sous bassins.....	39
2.4 : Courbes hauteurs-volume des cuvettes.....	41
2.5 : Les longueurs d'écoulement des sous-bassins.....	43
2.6 : Conclusion.....	43

## **CHAPITRE III : TYPE DE SOLS ET OCCUPATION DES SOLS.....**

3.1 : Introduction.....	45
3.2 : Les types de sols.....	45
3.3 : Occupation des sols.....	46
3.4 : Conclusion.....	48

## **CHAPITRE IV : EVALUATION DES DÉBITS DE POINTE**

4.1 : Introduction.....	49
4.2 : Evaluation des débits de pointe par la méthode rationnelle.....	49
4.2.1 : Principe de la méthode.....	49
4.2.2 : Calcul des temps de concentration des différents.....	
sous-bassins.....	51
4.2.3 : Estimation des coefficients de ruissellement	
des différents sous bassins.....	54
4.2.4 : Calcul des débits de pointe.....	57
4.2.5 : Conclusion.....	57

4.3 :	Estimation des débits de pointe par la méthode S.C.S (Soil Conservation Service).....	59
4.3.1 :	Principe de la méthode.....	59
4.3.2 :	Estimation des CN (Curve Number).....	60
4.3.3 :	Estimation des temps de concentration des sous bassins ..	61
4.3.4 :	Calcul des hydrogrammes de ruissellement à l'exutoire des sous-bassins.....	64

## **CHAPITRE V : PROPOSITIONS D'AMENAGEMENT**

5.1 :	Introduction.....	73
5.2 :	Zones aménageables en bassin de rétention.....	73
5.2.1 :	Rappels sur les bassins de rétention.....	74
5.2.2 :	Choix de l'emplacement des bassins de rétention.....	74
5.3 :	Laminage des hydrogrammes dans les bassins de rétention.....	74
5.3.1 :	Procédure de calcul de l'hydrogramme de sortie et du volume à stocker dans le bassin en fonction du temps.....	76
5.3.2 :	Hydrogramme de sortie et volume à stocker au bassin de rétention de l'exutoire du stade.....	80
5.3.3 :	Hydrogramme de sortie et volume à stocker au bassin de rétention de la Route des Niayes.....	81
5.3.4 :	Hydrogramme d'entrée, de sortie et le stockage en fonction du temps au bassin de l'échangeur.....	82
5.4 :	Dimensions des collecteurs et des bassins de rétention.....	89
5.4.1 :	Bassin de rétention du stade.....	89
5.4.2 :	Bassin de rétention de la route des Niayes.....	89
5.4.3 :	Bassin de rétention de l'échangeur.....	89
5.5 :	Consistance des travaux d'exécution du projet.....	90

## ANNEXES

- Annexe 1** : Courbe intensité-durée-fréquence (en échelle semi logarithmique)
- Annexe 2** : Carte topographique de la zone d'étude.
- Annexe 3** : Courbes granulométrique et différents types de sols
- Annexe 4** : Présentation des résultats du classement
- Annexe 5** : Profils en long des collecteurs

## LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU	TITRE
1.1	Précipitations journalières maximales annuelles de 1947 à 1995, station de Dakar-Yoff
1.2	Feuille de traitement de l'averse du 25/08/95
1.3	Intensités moyennes maximales des 68 averses par intervalles de temps $\Delta t$
1.4	Paramètres statistiques des différentes séries d'intensités moyennes maximales correspondant à un intervalle de temps $\Delta t$
1.5	Tableau donnant $D_n$ , $\alpha$ en fonction de la taille de l'échantillon et du seuil de confiance
1.6	Tableau donnant les intensités correspondant à un intervalle $\Delta t$ et une période de retour donnée
1.7	Résultat du classement pour une durée de 6 heures et une période de 39 ans
3.1	Récapitulation des caractéristiques des différents sous-bassins (pourcentage d'occupation, de perméabilisation et le type de sol)

4.1	Estimation des temps de concentration par les formules empiriques.
4.2	Tableau des coefficients de ruissellement moyens.
4.3	Débits des pointe des différents sous-bassins pour différentes périodes données par la méthode rationnelle.
4.4	Tableau donnant les CN en fonction des types de sol et de l'occupation.
4.5	Tableau des temps de concentration, temps de base, et de montée des bassins.
4.6	Hydrogramme de ruissellement des sous-bassins.
4.7	Hydrogramme global à l'exutoire du stade et de Grand-Médine.
5.1	Laminage de l'hydrogramme d'entrée du bassin de rétention de l'exutoire du stade.
5.2	Laminage de l'hydrogramme d'entrée du bassin de rétention de l'exutoire de la Route des Niayes.
5.3	Laminage de l'hydrogramme d'entrée du bassin de rétention de l'exutoire de l'échangeur.

## LISTE DES FIGURES

Figure	TITRE
1	Courbes intensité-durée-fréquence.
2	Orages synthétiques de période de retour 1an, 2 ans, 5 ans, 10 ans et 20 ans.
3	Courbes hauteurs-volume des exutoires des bassins.
4	Hydrogramme de ruissellement des différents sous-bassins.
5	Hydrogramme d'entrée et de sortie 1) Bassin de l'exutoire du stade 2) Bassin de la Route des Niayes 1) Bassin de l'échangeur

## LISTE DES PLANS

- 1- : Plan d'aménagement du point bas du stade.
- 2- : Plan d'aménagement du point bas de l'échangeur.
- 3- : Plan d'aménagement de la route des Niayes.

## INTRODUCTION

Les problèmes d'inondation ne sont pas des choses rares dans les sites urbains du Sénégal. En effet la ville de Dakar connaît toutes ces dernières années des catastrophes liées aux eaux de ruissellement pendant la saison des pluies.

Cette ville dont l'urbanisation extrêmement rapide est incontestable avec un développement du transport routier qui augmente le pourcentage d'imperméabilisation du sol, modifie l'emménagement car nécessitant davantage de zones revêtues et favorise une diminution du temps de concentration par de meilleurs écoulements.

Dans la zone de Grand Yoff, on note les importantes quantités d'eau de ruissellement venant du stade de l'Amitié, de l'échangeur de la station essence Mobil et de l'aménagement de la cité BCEAO, qui causent d'énormes problèmes dans les zones environnantes et surtout la route des Niayes.

C'est dans cette mouvance qu'on se propose de concevoir un système de drainage pour l'évacuation de toutes ces eaux.

Pour atteindre cet objectif, il serait important de connaître au préalable les mécanismes du ruissellement et d'évaluer les débits à l'exutoire des bassins ainsi que leur probabilité d'occurrence avant de procéder à un design du système de drainage. Il est à noter que les aspects économiques ne doivent pas être négligés et pour cela il faut avoir recours aux techniques nouvelles.

# CHAPITRE I : ETUDES PLUVIOMETRIQUES

## 1-1- Introduction

Le but de cette étude est l'estimation des intensités de pluie et le calcul des hyétoigrammes synthétiques correspondant à différentes périodes de retour par traitement des données de précipitation sur le site. Ces estimations sont d'une grande importance pour le dimensionnement des ouvrages et aménagements hydrauliques constituant pour l'ingénieur un critère fondamental dans le choix des débits de design.

Pour cela les courbes intensité-durée-fréquence constitue un outil souvent utilisé pour résumer les données de précipitations extrêmes sur un bassin versant.

Cependant cette courbe ne représente pas la forme réelle d'un orage. L'orage synthétique constitue un aspect de modèle de ruissellement qui est souvent utilisé.

Le traitement des données pluviométriques, consistera donc à l'établissement des courbes intensité-durée-fréquence et aux calculs des orages synthétiques pour des périodes de retour 1 an, 2 ans, 5 ans, 10 ans et 20 ans à partir des pluviogrammes et l'analyse des valeurs extrêmes sur les pluies journalières maximales.

## 1-2-LES DONNEES DE BASE

Les données disponibles sont :

- les précipitations journalières maximales annuelles de 1947 à 1995 de la station de DAKAR-YOFF données par le tableau 1-1

TABLEAU 1-1: PRECIPITATION JOURNALIERES MAXIMALES  
DE 1947 A 1995

ANNEES	PLUIES (mm)	ANNEES	PLUIES (mm)
1947	60,3	1972	41,4
1948	94	1973	47,9
1949	35,4	1974	63,4
1950	81,6	1975	83,8
1951	144	1976	69,6
1952	76,6	1977	92,4
1953	62,8	1978	40,2
1954	79,4	1979	51,8
1955	79,3	1980	76,9
1956	68,5	1981	43,6
1957	94,2	1982	38,1
1958	88,3	1983	31,8
1959	28,8	1984	54,7
1960	100,2	1985	87,3
1961	49,7	1986	78,5
1962	153,1	1987	92,8
1963	104,2	1988	47,1
1964	157,7	1989	113,7
1965	70,7	1990	32,2
1966	99,9	1991	59,3
1967	95,5	1992	27,1
1968	46,7	1993	56
1969	53,5	1994	63,9
1970	32,2	1995	68,6
1971	32,8		

- 68 pluviogrammes des averses tombées sur notre bassin (station de DAKAR-YOFF) pour une période allant de 1956 à 1995 avec des intensités de plus de 30 mm.

Ces précipitations sont mesurées avec un pluviographe donnant pour chaque événement pluvieux sa répartition dans le temps. Cette forme a une importance capitale dans la transformation pluie-débit.

### 1-3-TRAITEMENT DES DONNEES DE BASE

#### 1-3-1- Analyse de type "Intensité - Durée - Fréquence" sur les pluviogrammes

##### 1-3-1-1- Dépouillement des pluviogrammes

Pour le dépouillement des pluviogrammes nous allons procéder aux opérations suivantes :

\* sur le pluviogramme de chacune des averses, on déterminera les intensités moyennes correspondant à des intervalles de référence Dt

de 15 minutes	en 15 minutes	jusqu'à 60 minutes
de 30 minutes	en 30 minutes	jusqu'à 120 minutes
de 60 minutes	en 60 minutes	jusqu'à 480 minutes
de 120 minutes	en 120 minutes	jusqu'à 720 minutes

puis 900 minutes, 1080 minutes et 1380 minutes

On présente à titre d'exemple, la feuille de traitement de l'averse du : 01/10/58 (tableau 1-2).

Notons aussi que les intervalles de temps appliqués à chaque pluie dépendent de la durée de celle-ci.

**TABLEAU 1-2: feuille de traitement de l'averse du 01/10/58**

**DEPOUILLEMENT DE PLUVIOGRAMME**

pluie du 01/10/58

début: 11h00

fin: 17h15

durée: 6h15min

pluie cumulée 66,5 mm

temps	R(mm)	i(mm/h)		i(mm/h)		i(mm/h)		i(mm/h)		i(mm/h)											
		D=15mn	(15mn)	D=30mn	(30mn)	D=45mn	(45mn)	D=60mn	(45mn)	d=90mn	(90mn)	d=120	(120mn)	d=180	(180mn)	d=240	(240mn)	d=300	(300mn)	d=360	(360mn)
11:00	6,5	2	88	1	88	0,66667	52	0,5	43,5	0,3333	33,33	0,5	25,5	14,833	18,167	13	14,625	11,1	11,9	9,9167	9,9167
11:15	7	0		0		0		0		0		4,5		16,333		13		11,3		9,9167	
11:30	7	0		0		0		0		0,3333		5		16,833		13,125		11,6			
11:45	7	0		0		0		0		6		16		17		13,375		11,7			
12:00	7	0		0		0		0,5		6,6667		22		17,167		13,75		11,8			
12:15	7	0		0		0,66667		9		21,333		24,5		17,333		14,125		11,9			
12:30	7	0		1		12		10		29,333		25,25		17,5		14,5					
12:45	7	2		18		13,3333		32		32,667		25,5		17,833		14,625					
13:00	7,5	34		19		42		43,5		33,333		25,5		18,167		14,625					
13:15	16	4		46		46,6667		40		28		21,5		15,833		12,625					
13:30	17	88		68		52		40,5		27,667		21,25		16							
13:45	39	48		34		24,6667		19		13,333		10,75		8,8333							
14:00	51	20		13		9,33333		7,5		5,6667		5,5		5							
14:15	56	6		4		3,33333		3		3		3,75		3,5							
14:30	57,5	2		2		2		2		3		3,75									
14:45	58	2		2		2		2,5		3,6667		3,75									
15:00	58,5	2		2		2,66667		3,5		4,3333		3,75									
15:15	59	2		3		4		4,5		4,3333		3,75									
15:30	59,5	4		5		5,33333		5,5		4,3333											
15:45	60,5	6		6		6		5		4											
16:00	62	6		6		4,66667		4													
16:15	63,5	6		4		3,33333		3													
16:30	65	2		2		2															
16:45	65,5	2		2																	
17:00	66	2																			
17:15	66,5																				

\* En utilisant les dépouillements des averses, pour chacun des intervalles de référence  $\Delta t$ , nous classons les intensités moyennes  $I_M$  et choisissons le maximum. Ainsi donc, pour chaque averse nous avons l'intensité maximale correspondant à un intervalle de temps  $\Delta t$

Les résultats sont présentés au tableau 1-3.

L'intensité moyenne se définit par le rapport de la hauteur d'eau tombée pendant une durée donnée, soit :

$$I_M = \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad \text{avec } I_M = \text{intensité moyenne}$$

$\Delta h = \text{hauteur de pluie recueillie}$   
 $\text{pendant la durée } \Delta t$

### 1-3-1-2- Analyse statistique des résultats

L'analyse statistique vise à interpréter un phénomène quelconque, condenser l'information d'une série d'observations de façon simple et concise, et également extraire un maximum d'information des données disponibles. Elle est effectuée sur un échantillon ou une série d'observations

Les paramètres statistiques qui informent sur la nature de la série sont :

La moyenne arithmétique qui a pour expression :

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

$X_i = \text{hauteur de pluie (la variable)}$

$n = \text{le nombre d'années d'observations (la taille de l'échantillon)}$

tableau 1-3: intensités moyenne maximales de chaque pluie en fonction du temps

durées (mn)	15	30	45	60	90	120	180	240	300	360	420	480	600	720	900	1080	1260	1380	
pluies du																			
670822	68	59	42	32	22,33	17,25	12,5	9,375	7,6	6,333	5,429	4,75	4						
670909	42	37	29,33	23	17,67	14,25	10,67	8,5	7,1										
660919	50	45	40	33,5	28	23	17	13,63	11,2	9,5	8,214	7,5625							
580821	34	33	29,33	24,5	18,33	14,5	9,667	7,5	6,5	5,5	4,786	4,25	3,4	2,875	2,3667	2,219	2,028		
581001	88	68	52	43,5	33,33	25,5	18,17	14,63	11,9	9,917									
580806	68	41	33,33	35	28,67	27,5	19,5	15,13	12,3	10,33	8,929	7,8125	6,944						
580807	30	25	22	19	14	10,75	9,833	9,5	8,7	7,917	7	6,1875	4,95						
661009	100	68	63,33	50,5	33,67	25,25	20,83	15,88	12,8	10,75	9,286								
580803	48	48	41,33	37	28,67	23	16,83												
650813	66	57	43,33	34,5	25	19,75	14,17	11,25	9,1	7,583	8	8	8,25	7,333					
621009	80	65	45,33	41	27,67	21													
580820	36	31	24	21	19,67	16	10,67	8	6,4	5,333	4,571	4	3,2	3,125	2,6	2,194	2,286		
570909	40	26	20,4	15,3	12,33	10	7,167	7,175	7,7	7,083	6,357	6,4375	5,4						
560712	56	50	37,73	31	21	21,35	14,57												
571009	44	38	34,67	27	18,67	14,25	9,5												
620827	20	16	12	10	7,667	7,25	6,167	5,375	4,8	4,417	4,071	3,8125	3,6	3,208	2,6	2,289	2,081	1,922	
620803	92	82	76	71	51	41													
610927	40	40	40	34,7	27,13	22,6	16,4												
620925	52	28	21,33	22	15,33	11,5	7,667	5,75	4,74	4,033	3,457	3,025	2,65						
670902	52	39	26,67	21	14	10,75	7,167	7,625	6,1	5,083									
650814	16	13	14	11	7,667	6	5	3,875	3,2	2,833	2,857	2,875	2,8	2,667					
610927	40	40	40	34,7	28,67	28,667	22,75												
630809	36	29	23,6	19,2	14,3	11,6	8,7	6,3	5,2	4,75	4,78								
621013	134	130	96,67	79,6	56,4	42,3	28,2	21,28											
600812	52	42	35,33	28,5	21	16,75	14,83	14,88	12,2	10,42									
690718	92	62	46,67	39	28,67	24,25	21,17	18,25											
690728	88	77	58,78	44	30,33	24	16,67	13											
690819	30	23	21,33	19	18,67	16,75	15	14	12,1										
690820	44	35	28,67	22,5	17,67	13,5	9	7,125											
690921	54	46	34	26,5	26	20,25	14,17	10,63	8,5	7,083	6,07								
690831	160	90	60	49,5	36,67	29,25	20,17	15,25	12,2										
690913	94	75	58,67	44	29,33	22	14,67	11,5	9,2	7,67	6,57	5,75							
690922	50	43	28,67	14,33	10,75	7,17	5,38	4,3	3,58	3,43									
720913	46	26	23,33	18,5	13	9,75	6,667	8,25	6,8	6,667									

750728	52	48	46	39,5	31,33	25													
750810	38	35	32,67	28	25,33	20,5	13,67												
760925	68	63	44,67	34,5	23	18,25	12,33												
760817	102	100	70,67	54															
760918	36	27	21,3	16	11	9,75	8,167	7,125											
760924	68	58	52,67	40,5	27	20,75	14	11,63	9,9	8,417									
790719	52	46	35,33	27	18	13,5	9,667	7,375	5,9	4,917	4,429	3,875	3,1	2,625					
800903	94	62	48	39,5	29	22,75	16	12,38	10,1	9,25	8,714	7,9375	6,45	6,042					
810801	58	48	38,67	34	25	20,5	15,17	11,88	9,5	8,167									
810830	78	56	48	39	27	20,25													
840817	66	55	40	30,5	20,67	15,75	10,83												
840909	44	32	21,33	16	11,33	9,5													
840920	44	42	38,67	35	27,67	21,75	16	12,5											
840925	46	35	24	18,5	12,33	9,25													
850819	80	72	49,33																
850905	30	22	18	19	15,67	12,25	8,167	6,125											
850906	22	21	18	14,5	11,67	10	8,167	7	6	5,333	4,714	4,125	3,5						
860803	38	23	18	14,5	11,33	10	10	9,5											
870806	62	52	35,33	27	18	13,5	9	6,75	5,5	4,583	3,929	3,438	3,95	3,625					
870824	60	55	48,67	39	27	20,5	13,67												
870829	100	87	76,67	64,5	48	36,5	25,67	19,5	15,6	15,83	14,36								
870921	80	50																	
880802	82	53	37,33	29	19,33	14,5													
880816	46	26	18	20	14,67	11,25													
880821	28	27	24,67	23,5	18,33	14,25	13	10,13											
890802	32	29	26,67	26	21	17,25													
890823	24	18	13,33	11	8,333	6,5	4,333	3,25	2,6	2,25	2,143	3,4375							
890824	32	26	24	23	21	19,5	18,67	17,13	16,4	16,08	14,07	12,375	10,2	8,792					
890826	44	24	28,67	24	20,33	16	11,17												
940920	36	28	25,33	20	13,67														
940921	78	50	45,33	35															
950822	86	49																	
950823	60	44	44,67	42	31,33	24,5	17,33	13,38	10,7	8,917	7,643	6,6875	5,5	4,667					
950825	40	40	32,67	25,5	18	14,5	9,667	7,25	5,8	5,917	5,714								

$\bar{X}$  = la moyenne

- l'écart type qui exprime la dispersion

$$\sigma = \sqrt{\left[ \sum_i^n (X_i - \bar{X})^2 \right] / n}$$

- Le carré de l'écart type est appelé fluctuation ou variance de la série d'observations.

- La dispersion des observations peut être traduite synthétiquement par le coefficient de variation qui est le rapport  $V = \frac{\sigma}{\bar{X}}$  de l'écart type  $\sigma$  à la moyenne  $\bar{X}$

- L'étendue ou l'intervalle de variation

$$\omega = X_{\max} - X_{\min}$$

$X_{\max}$  = valeur maximale des  $X_i$

$X_{\min}$  = valeur minimale des  $X_i$

- L'écart absolu moyen c'est la moyenne arithmétique des valeurs absolues des écarts par rapport à la moyenne  $\bar{X}$

$$e_a = \frac{1}{n} \sum |X_i - \bar{X}|$$

- Le coefficient d'asymétrie qui est le rapport adimensionnel du troisième moment au cube de l'écart type.

$$C_s = \frac{\left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3 \right]}{\left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \right]^{3/2}}$$

- Le coefficient d'aplatissement

D'une façon générale, ces paramètres caractérisent la série d'observations aux trois points de vue suivants :

- 1- On cherche à caractériser l'ensemble par une valeur type définie comme la moyenne arithmétique des observations qui représentera en première approximation l'ordre de grandeur de l'ensemble des observations et permettre la plus sommaire comparaison rationnelle entre deux séries.
- 2- La dispersion ou la fluctuation des diverses observations autour de la valeur centrale (la moyenne). Cette caractéristique est essentielle pour ne pas se contenter de la seule considération des valeurs moyennes.
- 3- Les caractéristiques de forme : symétrie et aplatissement de la courbe de observations traduites par le coefficient d'aplatissement et le coefficient d'assymétrie.

Pour cette analyse, les séries statistiques sont composées par l'ensemble des intensités maximales des différentes pluies correspondant à un intervalle de référence  $\Delta t$

Les paramètres statistiques de chaque série sont données au tableau suivant : (tableau 1-4)

TABLEAU 1-4: paramètres statistiques des series d'intensités maximales

durée correspondante	15	30	45	60	90	120	180	240	300	360	420	480	600	720	900
moyenne	58	46	37	31	22	18	13	10	8	7	7	6	5	4	3
étendu	144	117	85	70	49	36	24	18	14	14	12	10	8	6	
valeur maximale	160	130	96,7	79,6	56,4	42,3	28,2	21,3	16,4	16,1	14,4	12,4	10,2	8,8	2,6
valeur minimale	16	13	12	10	7,7	6	4,3	3,3	2,6	2,3	2,1	2,9	2,7	2,6	2,4
variance	738,5	465,28	275,82	191,79	95,83	60,05	28,19	18,96	11,87	10,65	9,46	5,83	4,65	4,74	0,01
ecart-type	27,18	21,57	16,61	13,85	9,79	7,75	5,31	4,35	4,45	3,26	3,08	2,42	2,16	2,18	0,12
erreur standard	3,3	2,62	2,04	1,72	1,23	0,98	0,73	0,66	0,59	0,59	0,63	0,55	0,54	0,69	0,07
coeff. variation	0,47	0,47	0,45	0,45	0,44	0,43	0,4	0,42	0,41	0,45	0,47	0,43	0,44	0,48	0,05
coeff. d'assymétrie	17,6	19,66	15,36	14,8	14	10,25	7,63	5,08	4,07	6,49	5,5	7,37	5,04	2,56	0,06
coeff. d'aplatissement	-0,09	0,38	-0,5	-0,58	-0,68	-1,45	-1,77	-2,12	-2,17	-1,31	-1,22	0,27	-0,66	-1,49	-2,96

### 1-3-1-3- Etablissement des courbes intensité-durée-fréquence

Soit une averse de durée  $t$  et d'intensité  $i$  ( $i$  exprimée en mm/h)

Si au cours d'une période de  $N$  années on a enregistré  $n$  fois cette averse, on

dira que la fréquence empirique de cette averse est  $F = \frac{n}{N}$  et que l'averse

est de fréquence un an, deux ans, dix ans etc... si cette averse survient en moyenne une fois tous les ans, tous les deux ans, cinq ans, dix ans, etc....

On appelle période de retour  $T$  ou intervalle de récurrence  $\phi$  d'une averse,

l'inverse de sa fréquence  $T = \phi = \frac{1}{F} = \frac{N}{n}$

On admet que la valeur de la fréquence déterminée expérimentalement est très proche de la probabilité. Dans ces conditions, l'intervalle de récurrence et le nombre d'années au cours duquel, en moyenne, l'averse considéré surviendra seulement une fois.

Pour des raisons économiques, on ne cherche pas la précipitation la plus intense pouvant survenir au cours d'une période de durée indéfinie. On ne recherche pas une protection absolue, mais une protection contre une averse de fréquences déterminée.

Nous sommes donc amenés à prendre compte des intensités d'averse ayant une fréquence donnée et c'est la fréquence décennale qui est généralement adopté.

Pour décrire ce phénomène probabiliste, nous allons ajuster l'échantillon à une fonction de répartition. On dispose au départ d'une série d'intensité observées qui sont indépendantes et on se donne un modèle statistique, c'est à dire une fonction de répartition  $F(Q, \alpha, \beta, \gamma, \dots)$ . Si le modèle convient bien à l'échantillon observé on aura :

- Les valeurs des paramètres  $\alpha, \beta, \gamma, \dots$
- La série des  $Q_i$  qui est bien représentée par la loi F c'est à dire que les paramètres de la loi F étant déterminés, on a la loi qui représente bien les riques de crues observés.

Les deux moyens les plus courants pour répondre à cette question sont les suivants : un ajustement graphique et un test de dispersion.

- Un ajustement graphique permet de voir si la forme de la loi F est bien celle de la distribution des  $Q_i$  observé
- Un test de dispersion des observations par rapport à F : le test du  $\chi^2$  ou le test de Kolmogorov Smirnov sont les plus utilisés en hydrologie.

### a/- ajustement des séries aux lois de Gumbel et lognormale

Les lois utilisés pour la détermination des périodes de récurrence sont la loi de Gumbel pour les échantillons des intensités maximales correspondant aux intervalles de référence Dt, la loi de Gumbel, et la loi de Lognormale pour les pluviométries journalières maximales annuelles.

#### La loi de Gumbel

Elle est souvent appelée loi des valeurs extrêmes

Fonction de répartition :

$$F(Q) = \exp \left[ -\exp \left( -\frac{Q - \alpha}{\beta} \right) \right]$$

$\frac{1}{\beta}$  : paramètre de dispersion

$\alpha$  : est la mode

la fonction de densité de probabilité  $f(x) = \frac{1}{\beta} \exp \left[ -\left( \frac{Q - \alpha}{\beta} \right) - \exp \left[ -\alpha \left( \frac{Q - \alpha}{\beta} \right) \right] \right]$

Cette distribution donne plus de poids aux crues les plus fortes.

Son sous-titre " Valeurs extrêmes " provient du fait qu'elle résulte de l'étude des valeurs extrêmes prises par une variable aléatoire au cours de n tirages indépendants.

- Estimation des paramètres  $\alpha$  et  $\beta$

Nous ne ferons que citer les résultats de l'estimation par la méthode des moments :

$$\bar{Q} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_i \approx m(\alpha, \beta) = \int_{-\infty}^{+\infty} Q \frac{\partial F}{\partial Q} dQ = \alpha + 0,577$$

$$S^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2 \approx \sigma^2(\alpha, \beta) = \int_{-\infty}^{+\infty} (Q - m)^2 \frac{\partial F}{\partial Q} dQ = (1,28 \beta)^2$$

$$\Rightarrow \alpha = \bar{Q} - 0,450 S \quad \beta = S/1,28$$

$\frac{1}{\alpha}(Q - u)$  s'appelle la variable réduite

le produit  $S$  est l'écart - type corrigé de l'échantillon et

$\bar{Q}$  est la moyenne

### La loi lognormale

la loi Lognormale est identique à la loi normale en remplaçant  $Q$  par la  $\ln Q$  dans la fonction de répartition

$$F(Q) = \int_0^Q \frac{1}{\beta Q \times \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln Q - \ln \alpha}{\beta}\right)^2\right] dQ$$

- Estimation des paramètres

Ils sont donnés par:

**On obtient**

$$\ln \bar{Q} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\ln Q_i)$$

$$\beta^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\ln Q_i - N \ln \alpha)^2$$

Il est rare que la loi Normale convienne aux débits de crues. Elle pose en outre un problème car on ne peut avoir des débits négatifs et la fonction de répartition est utilisable seulement si la moyenne des débits est grande devant l'écart-type. En revanche on trouve assez souvent que le logarithme des débits (qui, lui peut être négatif) suit bien la loi Normale.

Tous ces calculs de fréquences et de période de retour sont faits grâce à un programme d'analyse statistique écrit dans le cadre d'un projet de FIN D'ETUDES en 1990 à l'EPT par AMANI ABOU.

L'algorithme général du programme est :

- Acquisition de l'échantillon
- Calcul des paramètres  $(\alpha, \beta)$  aux lois : Loi normale, Loi Lognormale Loi de Gumbel, Loi de Fréchet, (l'utilisation s'est limitée aux lois normale et de Gumbel).
- Tests d'ajustement : test de Kolmogorov- Smirnov, test du Khi-deux
- Calcul des événements connaissant leur période de retour,
- Calcul des périodes de retour des événements.

Les résultats suivants ont été obtenus Tableau 1-6

### **b/- Rangement selon la formule de Weibull**

Les mêmes périodes de retour ont permis de déterminer les pluies en utilisant le classement d'averses pour les durées  $\Delta t$ . Nous avons déterminé les valeurs de  $i_M$  qui sont atteintes ou dépassées une fois en 20 ans, 10 ans, 5 ans 2 ans et 1 an pour chaque  $\Delta t$  avec la formule de Weibull  $f = \frac{m}{n + 1}$  décrit précédemment.

Par exemple dans le tableau 1-7 qui est relatif à une période de 39 ans (1957 - 1995), on lit pour  $\Delta t = 6h$ , l'intensité moyenne maximale atteinte ou dépassée :

- une fois tous les 20 ans sur la 2<sup>e</sup> ligne
- une fois tous les 10 ans sur la 4<sup>e</sup> ligne
- une fois tous les 5 ans sur la 8<sup>e</sup> ligne
- une fois tous les 2 ans sur la 20<sup>e</sup> ligne
- une fois tous les 1 an sur la 40<sup>e</sup> ligne

Les résultats du rangement sont présentés en au tableau 1-8.

### **c/- Synthèse des dépouillements**

La synthèse va consister par une famille de courbes donnant pour un intervalle de récurrence (c'est-à-dire une fréquence ou une probabilité déterminée) l'intensité moyenne  $I_M$  en fonction de la durée  $\Delta t$  pour chaque intervalle de récurrence.

**tableau 1-7:**

<b>CLASSEMENT DES INTENSITES MAXIMA INTERVALLE DE REFERENCE 6H</b>			
<b>N° DE CLASSE</b>	<b>I (mm/h)</b>	<b>DATE</b>	<b>f=m/n+1</b>
1	16,083	890824	0,025
2	15,833	870829	0,05
3	10,75	661009	0,075
4	10,417	600812	0,1
5	10,333	580806	0,125
6	9,9167	581001	0,15
7	9,5	660919	0,175
8	9,25	800903	0,2
9	8,9167	950823	0,225
10	8,417	760924	0,25
11	8,1667	810801	0,275
12	7,9167	580807	0,3
13	7,67	690913	0,325
14	7,5833	650813	0,35
15	7,0833	570909	0,375
16	7,083	690921	0,4
17	6,6667	720913	0,425
18	6,3333	670822	0,45
19	5,9167	950825	0,475
20	5,5	580821	0,5
21	5,3333	580820	0,525
22	5,3333	850906	0,55
23	5,0833	670902	0,575
24	4,9167	790719	0,6
25	4,75	630809	0,625
26	4,583	870806	0,65
27	4,4167	620827	0,675
28	4,0333	620925	0,7
29	3,43	690922	0,725
30	2,8333	650814	0,75
31	2,25	890823	0,775

**TABLEAU 1-8: les résultats du rangement (loi de Weibull)**

T en années	1	2	5	10	20
durée en min					
15	46	68	92	100	132
30	39	54	71,2	86,51	99,5
45	29,33	44	57,46	69,94	76,37
60	24	35	43,9	53,66	70,68
90	18	27	31,13	36,37	50,85
120	14,25	20,87	25,2	29,2	40,77
180	9	14,62	18,57	21,14	25,53
240		10,625	14,875	17,125	19,5
300		7,1	11,9	12,3	15,6
360		5,5	9,25	10,417	15
420		4,071	7,64	8,93	14,071

Ces familles de courbes peuvent aussi être représentées par des formules mathématiques. Ces formules sont généralement de l'un des 2 types

$$i = \frac{a}{b + t} \quad \text{ou} \quad i = A.t^{-B}$$

où  $t$  est l'intervalle de temps  $\Delta t$  considéré ou le temps de concentration  $t_c$  ;  $a$ ,  $b$  et  $A$ ,  $B$  sont des paramètres d'ajustement qui dépendent du lieu où se trouve la station météorologique et de la période de retour  $T$  de l'averse, soit :

$$i = \frac{a(L,T)}{b(L,T) + t}$$

$$i(L,T) = A(L,T)t^{-B(L,T)}$$

$L$  : le lieu

$T$  : la période de retour

La même chose est faite avec les fréquences empiriques découlant de la loi de Weibull avec le classement par ordre décroissant des averses d'intensité  $\Delta t$ .

### d/-Détermination des coefficients a et b

1- Pour la formule  $i = a t^{-b}$

L'intensité de pluie  $i(\Delta t, T)$  de période de retour  $T$  tombée pendant l'intervalle de référence  $\Delta t$  est :

$$i(\Delta t, T) = a(T) - \Delta t^{-b(T)} \quad \text{en mm/heure}$$

$$\text{D'où} \quad \text{Log } i(\Delta t, T) = -b(T) \text{Log } \Delta t + \text{Log}(a(T))$$

$$\text{Posons} \quad \text{Log } i(\Delta t, T) = y$$

$$\text{Log } \Delta t = x$$

$$\begin{aligned}\text{Log}(a(T)) &= A \\ -b(T) &= B\end{aligned}$$

La relation devient donc  $Y = BX + A$  qui est une régression de  $Y$  en  $X$ . Les coefficients  $A$  et  $B$  sont déterminés par la méthode des moindres carrés. On en déduit les valeurs de  $a(T)$  et de  $b(T)$ . Elles sont présentées dans le tableau suivant.

a)

Période de retour T	a(T)	b(T)
1 an	449	0.7576
2 ans	618.62	0.7764
5 ans	1126.78	0.8327
10 ans	1500	0.857
20 ans	1912.4	0.879

$i(\Delta t, T)$  obtenue par l'ajustement de l'échantillon à la loi de Gumbel.

Période de retour T	a(T)	b(T)
1 an	957.36	0.8785
2 ans	1178.56	0.8915
5 ans	1842.16	0.9305
10 ans	1408.77	0.8314
20 ans	1580.86	0.8035

$i(\Delta t, T)$  obtenue par le classement des averses

2- pour la formule  $i = \frac{a}{b + t}$

Soit  $i(\Delta t, T)$  l'intensité de période de retour  $T$  tombée pendant l'intervalle de référence  $\Delta t$ .

A partir de la formule  $i = \frac{a}{b + t}$  on recherche une fonction du type  $y = \frac{a}{b + x}$  ou  $y(b + x) = a$ , passant par une famille de point  $(x_i, y_i)$  correspondant à  $n$  averses.

Posons  $i(\Delta t, T)_i = y_i$

et  $\Delta t_i = x_i$

On pose  $a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i (b + x_i)$

et on recherche  $b$  tel que la quantité

$$\sum_{i=1}^n \left[ (b + x_i) y_i - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j (b + x_j) \right]^2 \text{ soit minimale}$$

on obtient la condition:

$$\sum_{i=1}^n \left[ (b + x_i) y_i - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j (b + x_j) \right] \left[ y_i - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j \right] = 0$$

Soit

$$b \sum_{i=1}^n \left[ y_i - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j \right]^2 + \sum_{i=1}^n \left[ x_i y_i - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j y_j \right] \left[ y_i - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j \right] = 0$$

En posant :

$$A_i = y_i - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j \quad \text{et} \quad \beta_i = x_i y_i - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j y_j$$

On obtient :

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n A_i B_i}{\sum_{i=1}^n A_i^2} \quad \text{et} \quad a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i (x_i + b)$$

les résultats obtenus sont les suivants:

Période de retour T	a(T)	b(T)
1 an	2363	37.2
2 ans	2684	34.55
5 ans	3646	26.62
10 ans	4295.1	23.91
20 ans	4904.8	21.75

$i(\Delta t, T)$  obtenue par l'ajustement à la loi de Gumbel

Période de retour T	a(T)	b(T)
1 an	831.43	17.7
2 ans	2412.4	13.66
5 ans	3021	11.58
10 ans	4438	14.18
20 ans	4430	23.13

$i(\Delta t, T)$  obtenue par le classement des averse

Nous remarquons que les résultats obtenus avec la formule d'intensité après ajustement à la loi de Gumbel donnent des coefficients de corrélation plus proche de la réalité. Donc nous allons utiliser les courbes obtenues à partir de ces résultats: graphique 1 à 4 et figure 1-1

### 1-3-2- Analyse statistique des pluies journalières maximales annuelles.

L'ensemble des pluies journalières maximales annuelles est considéré comme une série d'observations et conformément à la méthodologie décrite ci-dessus, les paramètres de l'échantillon, et les pluies correspondant aux périodes de retour 2 ans, 5 ans, 10 ans et 20 ans ont été obtenus avec le programme pour deux lois les résultats obtenus sont :

Moyenne	70
Etendue	131
Valeur maximale	157.1
Valeur minimale	27.1
Variance	964.24
Ecart standard	4.44
Coefficient de variation	0.44
Coefficient d'assymétrie	7.4
Coefficient d'aplatissement	-1.73

Paramètres de la :

loi logormale		loi de gumbel	
$\ln \alpha$	=	4,16	$\alpha$ = 56,46
$\beta$	=	0,44	$\beta$ = 24,26

les paramètres  $\alpha$  et  $\beta$  sont définis précédemment pour les deux lois

Le test de kolmogorov est positif pour les deux lois avec le seuil de 5%

Le calcul des intensités a donné les résultats suivantes :

Période de retour	Loi de LogNormale	Loi de Gumbel
1 an	62	56.4
2 ans	70	65.3
5 ans	97	92
10 ans	117	111.1
20 ans	135	128.5

Les intensités sont en mm/jour

Nous remarquons que les courbes intensité-durée-fréquence donnent des pluies journalières supérieures à celles obtenues par l'analyse statistique des pluies journalières maximales . Pour le cacul des débits nous allons donc utiliser les courbes I.D.F.

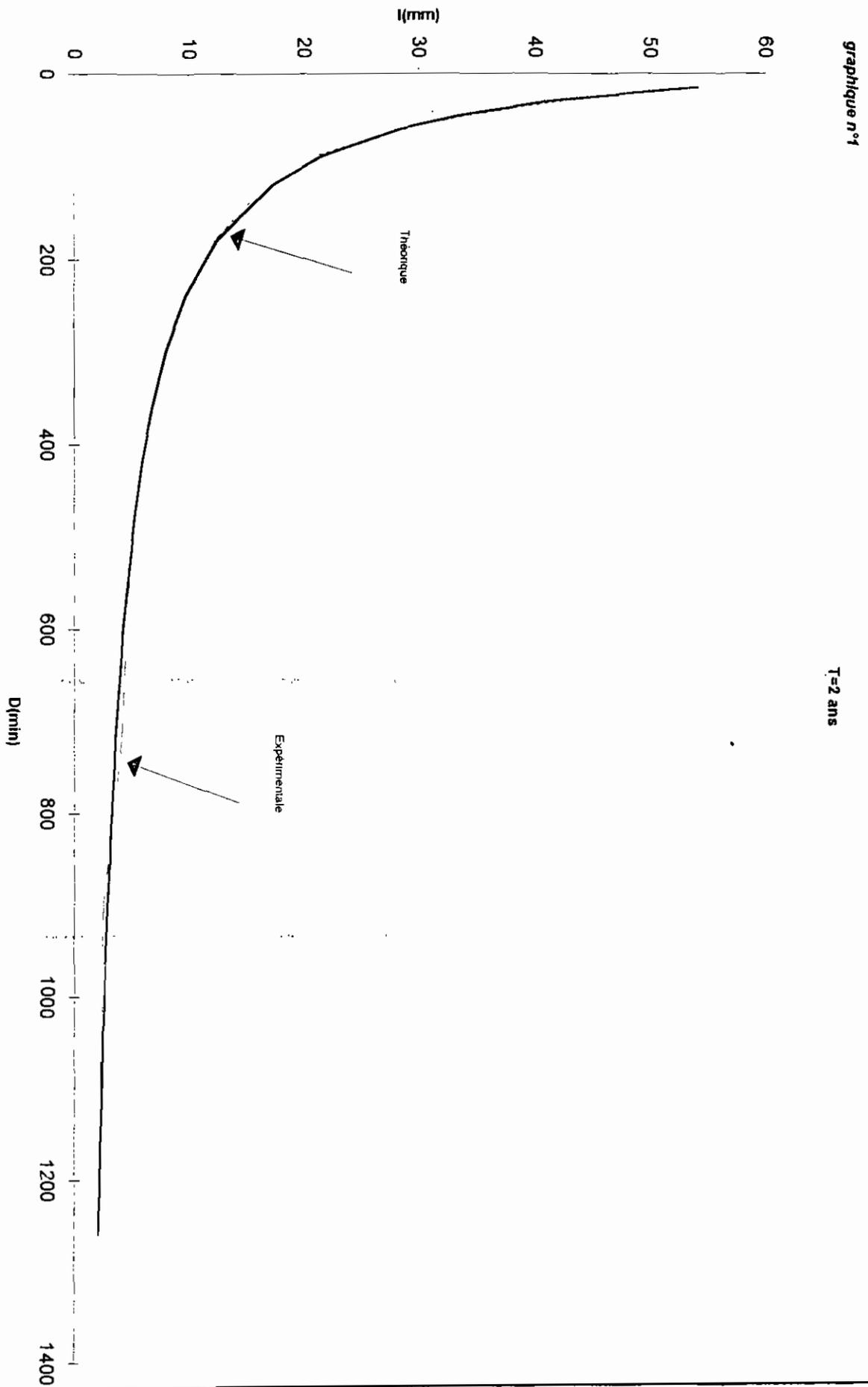
$$i = \frac{2363}{t + 37} \quad \text{pour } T= 1 \text{ an}$$

$$i = \frac{2684}{t + 35} \quad \text{pour } T= 2 \text{ ans}$$

$$i = \frac{3646}{t + 27} \quad \text{pour } T= 5 \text{ ans}$$

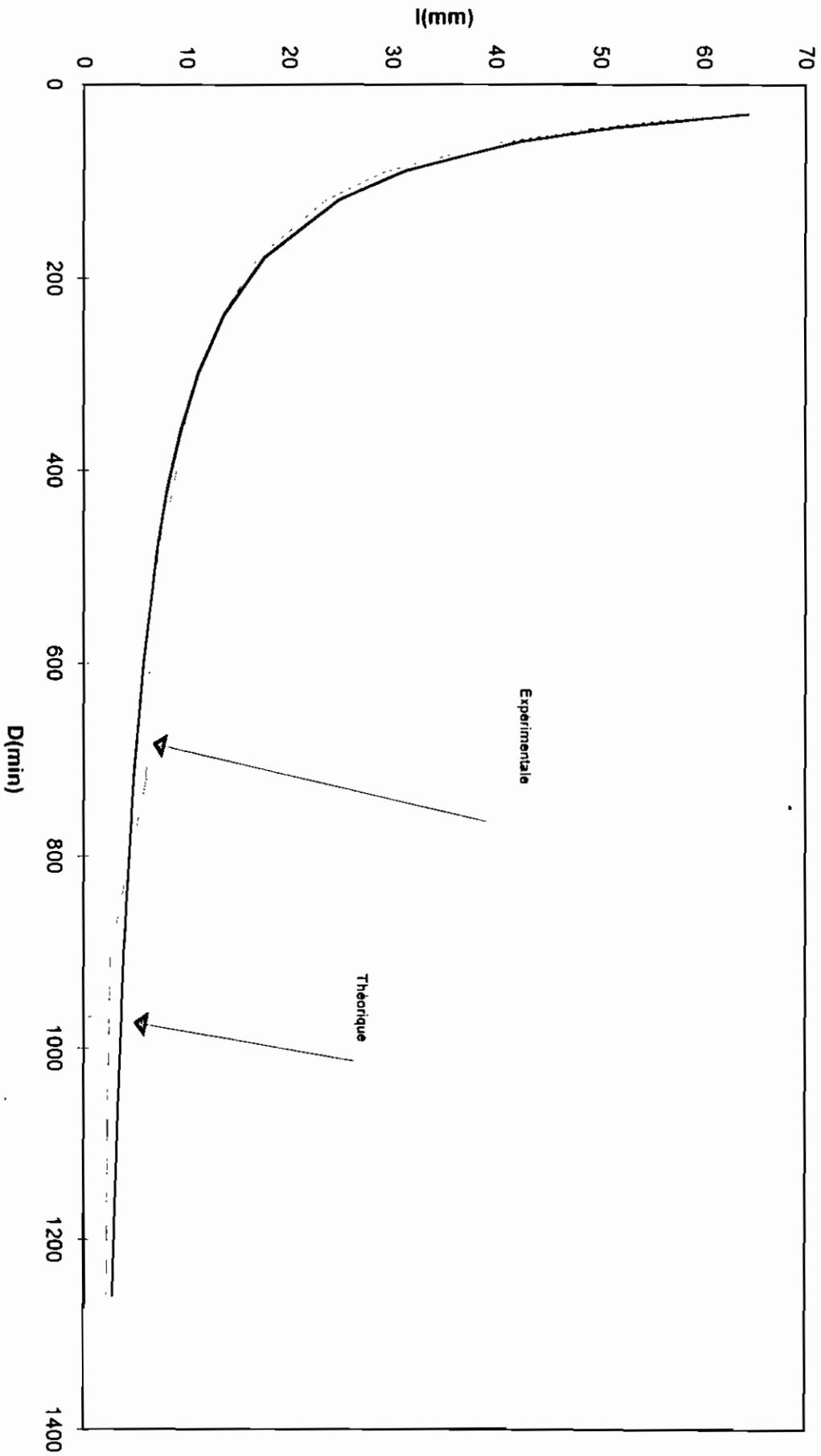
$$i = \frac{4295}{t + 24} \quad \text{pour } T= 10 \text{ ans}$$

$$i = \frac{4905}{t + 22} \quad \text{pour } T= 20 \text{ ans}$$

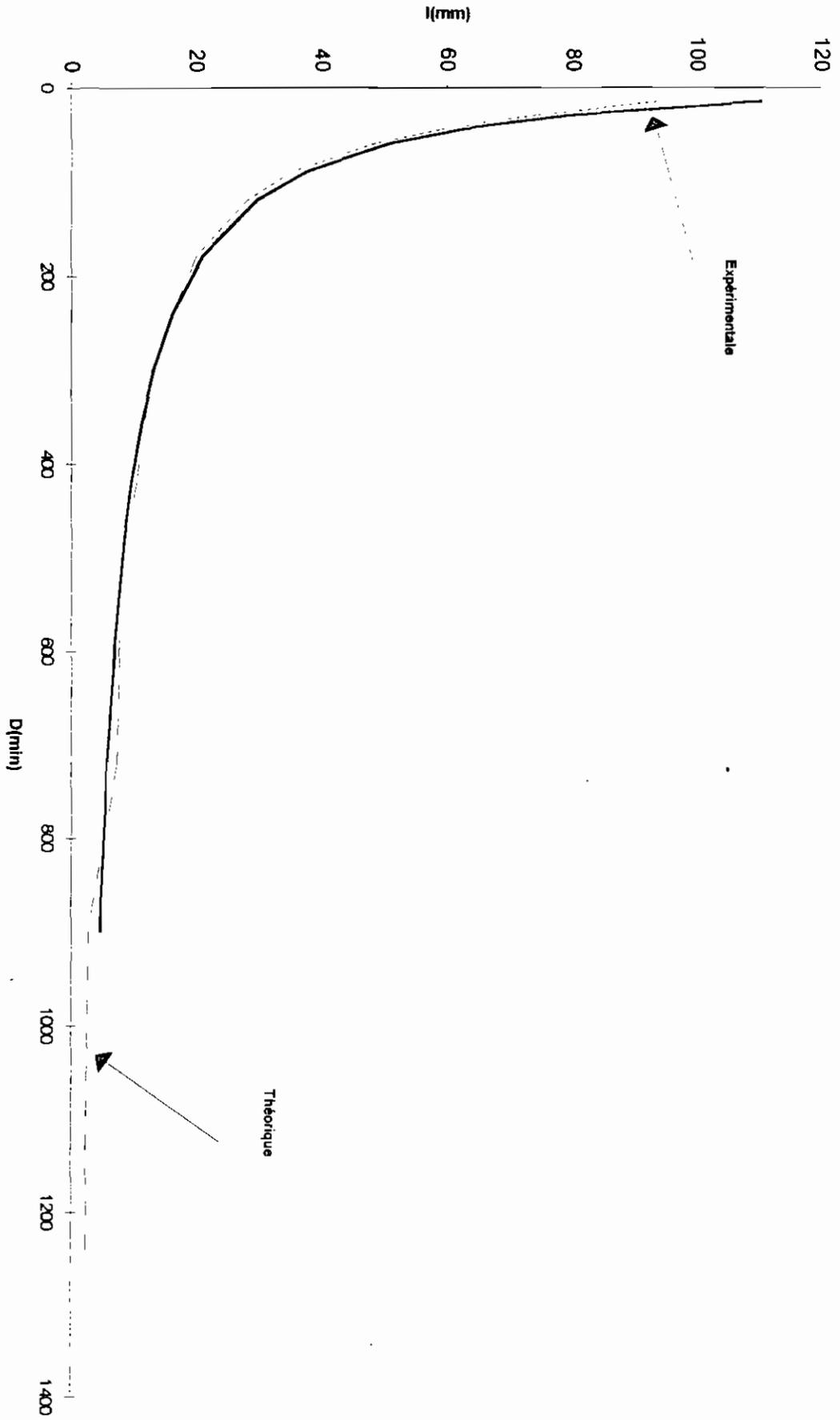


graphique n°2

T=5 ans



graphique n°3

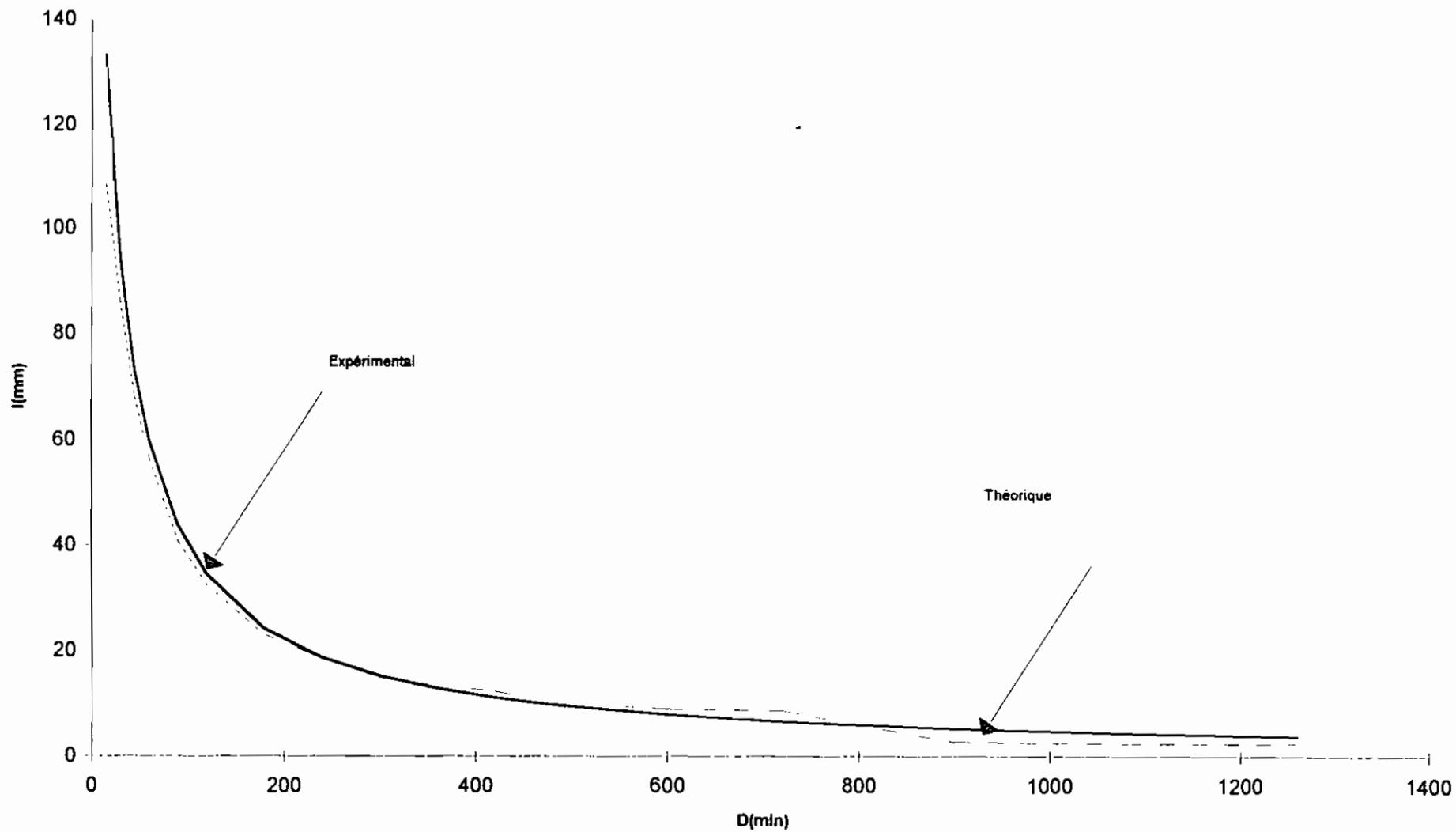


T=10 ans

graphique n°4

T=20 ans

Projet de fin d'études



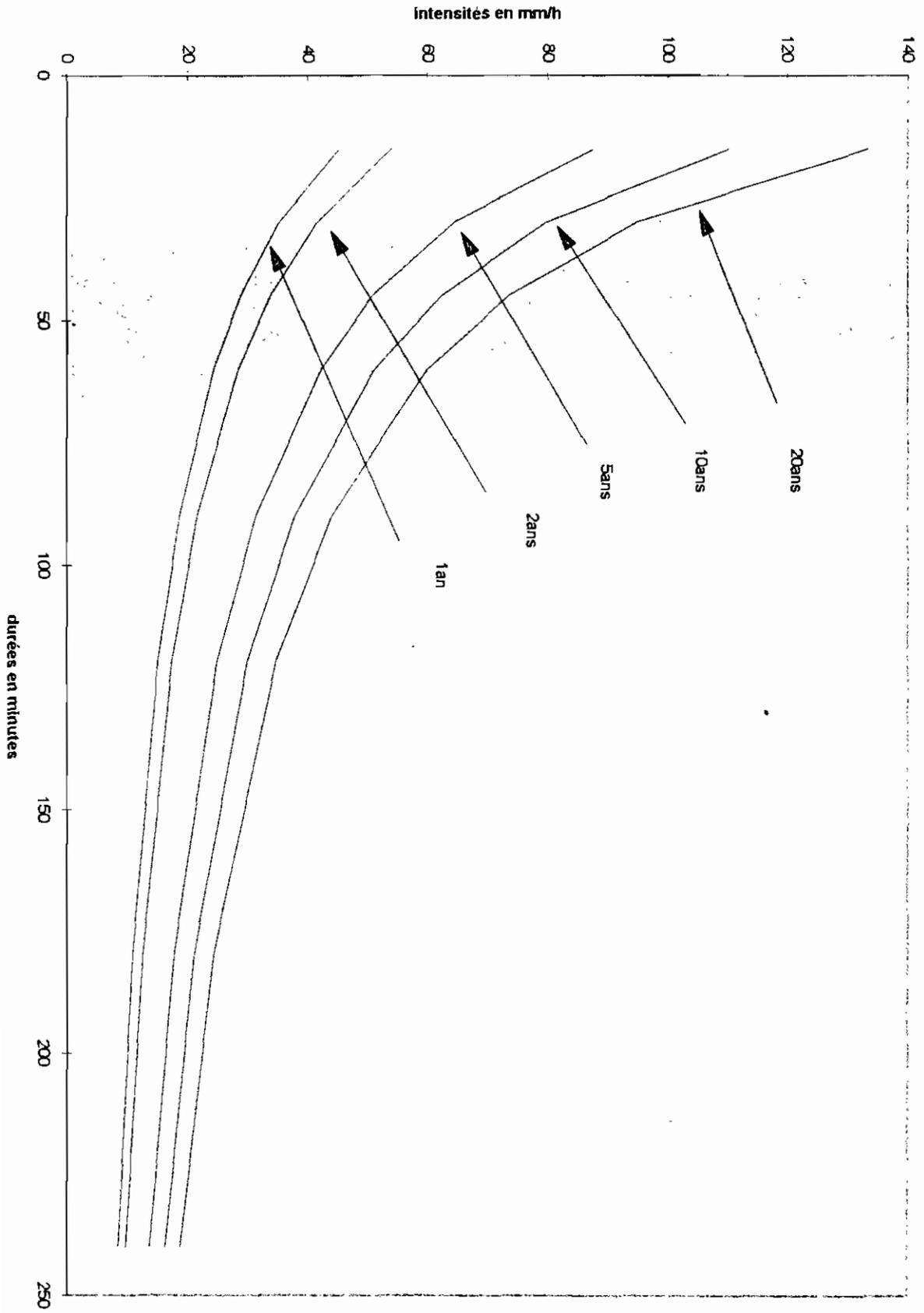


figure 1

courbes intensité\_durée\_fréquence

#### 1-4- CALCUL DES ORAGES SYNTHÉTIQUES

Un hyétogramme synthétique ou orage de conception est une courbe  $i = i(t)$  représentant la variation de l'intensité en fonction du temps au cours d'une averse de durée  $T$ . Cette courbe est construite de telle sorte que l'intensité moyenne soit celle d'une pluie constante de durée  $T$  correspondant à la période choisie selon que l'intensité maximale se produit avant  $T/2$ , après  $T/2$  ou à  $T/2$  on parlera d'orage avancé, intermédiaire ou retardé. L'étude des pluies de la région de Dakar montre qu'on a des orages complètement avancés car l'intensité maximale se produit au début des premières minutes. Cette orage est défini par:

$$\int i dt = It = \frac{at}{t+b}$$

d'où

$$i = \frac{d}{dt} \left[ \frac{at}{(t+b)} \right] = \frac{a(t+b) - at}{(t+b)^2}$$

$$i = \frac{ab}{(t+b)^2}$$

Mais cette forme ne présente pas la forme réelle d'un orage et qu'il est nécessaire de le transformer en orage intermédiaire. Pour se faire, le temps sera considéré à partir du maximum d'intensité et on introduit un coefficient  $r$  qui représente la proportion de pluie du volume total de l'orage qui tombe avant le point d'intensité maximale instantanée de précipitation. Supposons qu'on ait le point au milieu de la durée de la

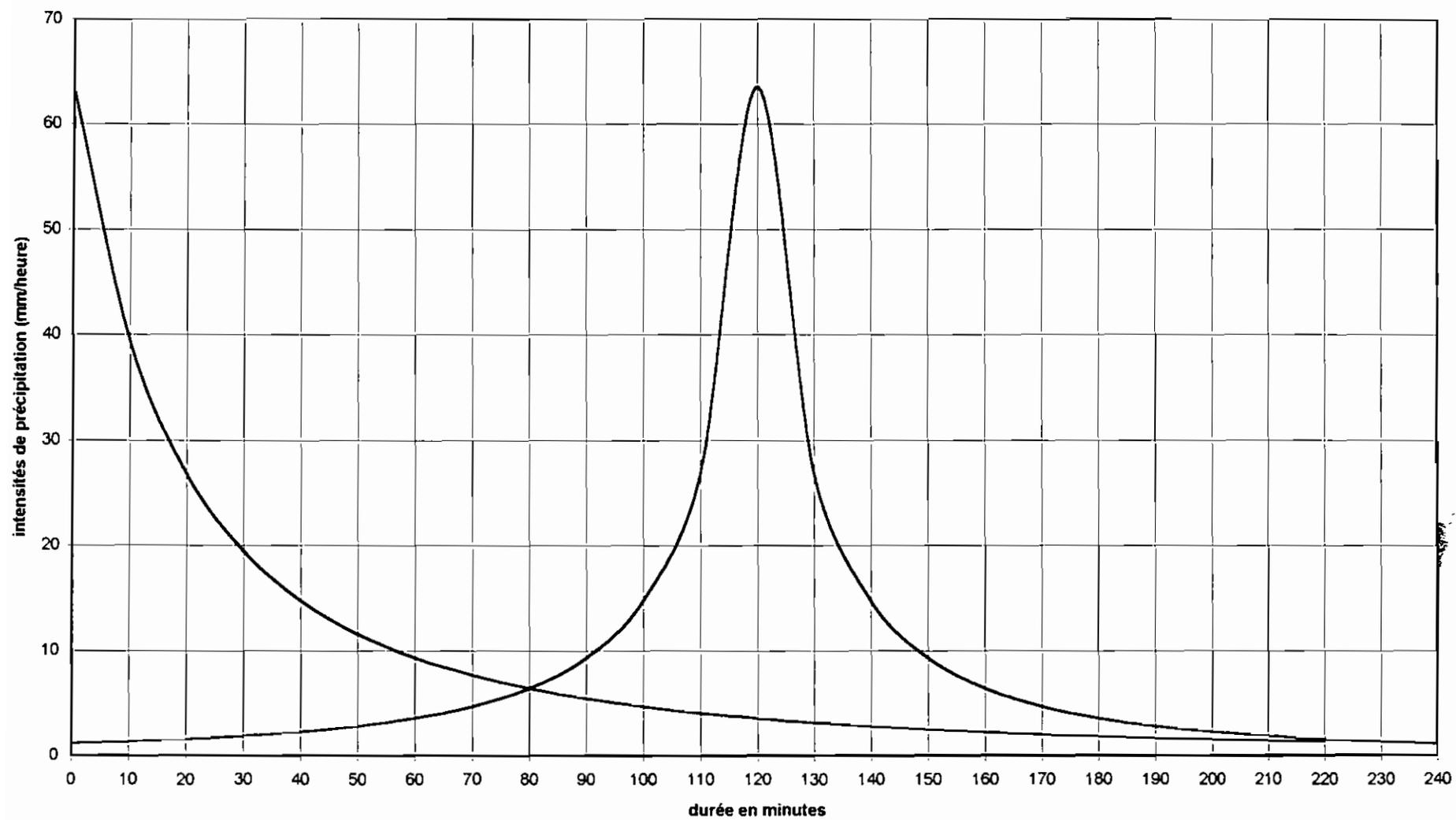
pluie , donc  $\alpha = 0,5$ . On pourra dans ce cas utiliser le hyétogramme suivant:

$$i(t) = \frac{ab}{\left(b + T - \frac{t}{0,5}\right)^2} \quad 0 \leq t \leq T$$

$$i(t) = \frac{ab}{\left(b + \frac{t - \alpha T}{1 - \alpha}\right)^2} \quad \alpha t \leq t \leq T \quad \text{avec } \alpha = 0,5$$

La figure 2 montre les orages complètement avancés et les orages intermédiaires

figure 2-1: hyétoqramme synthétique de correspondant à l'IDF de fréquence 1/1 ans



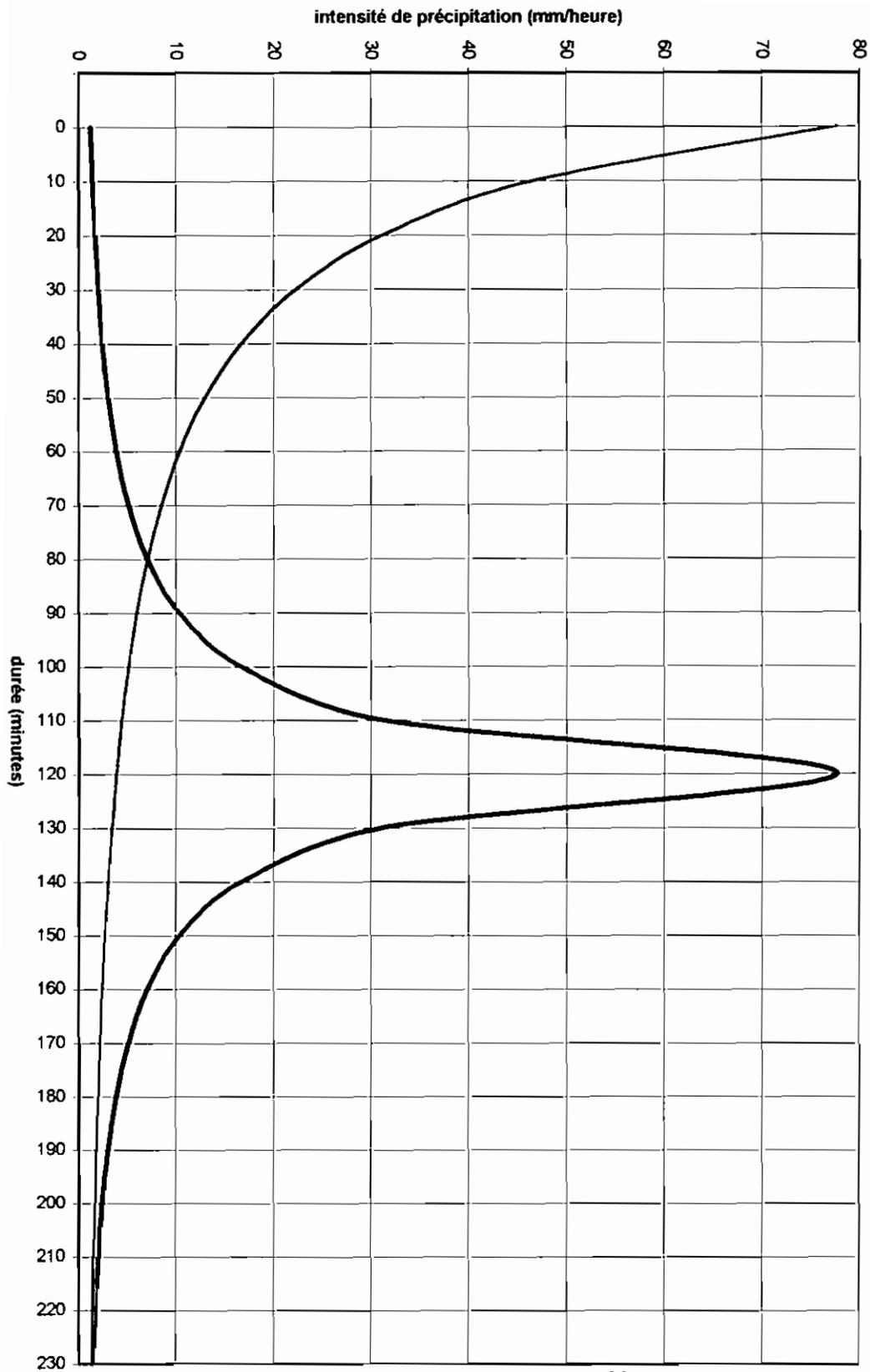


figure 2-2: Hyetogramme synthétique correspondant à l'IDF de fréquence 1/2 ans

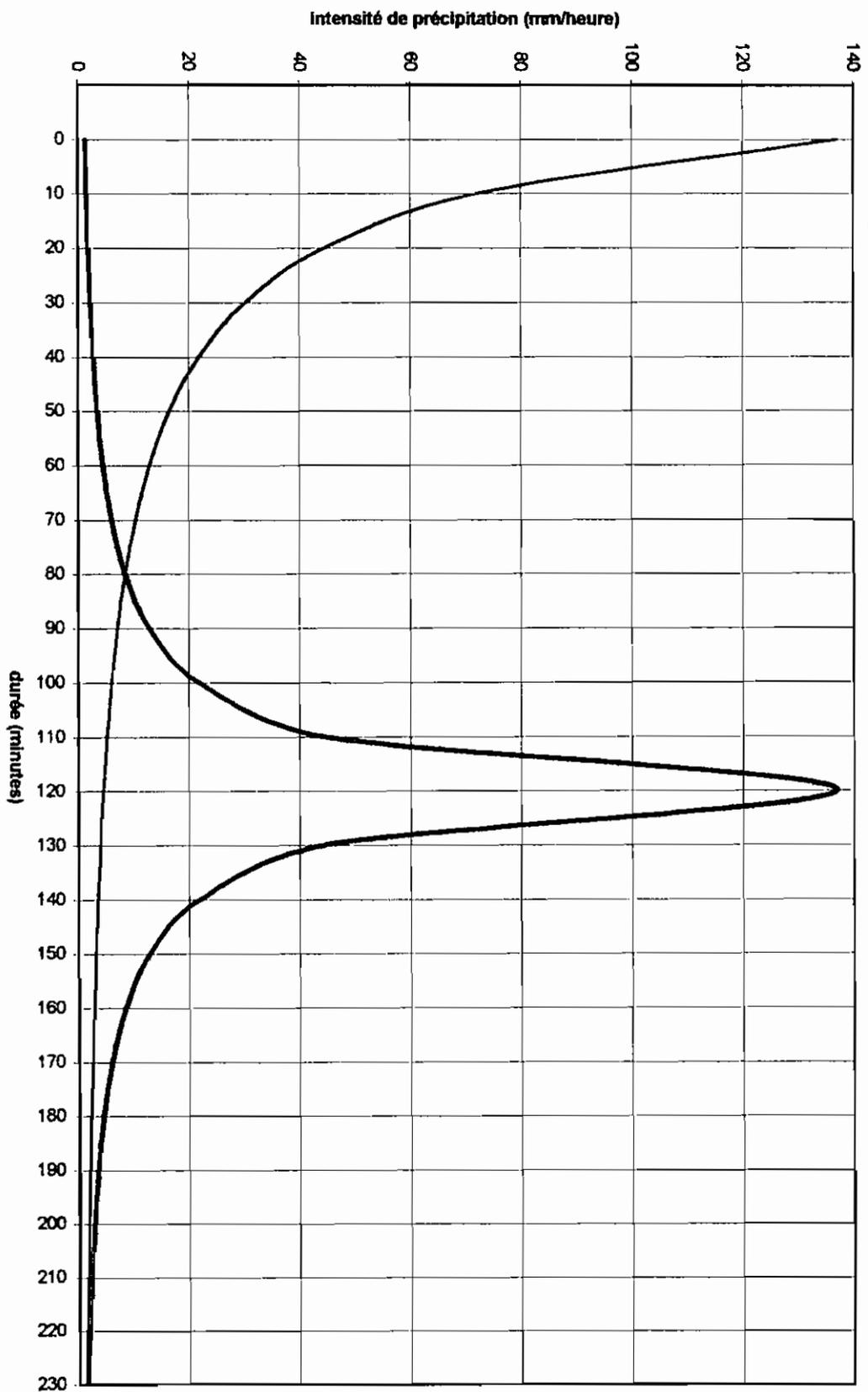


figure 2-3: Hyétoigramme synthétique correspondant à l'IDF de fréquence 1/5 ans

figure 2-4: hyétoqramme synthétique correspondant à l'IDF de fréquence 1/10 ans

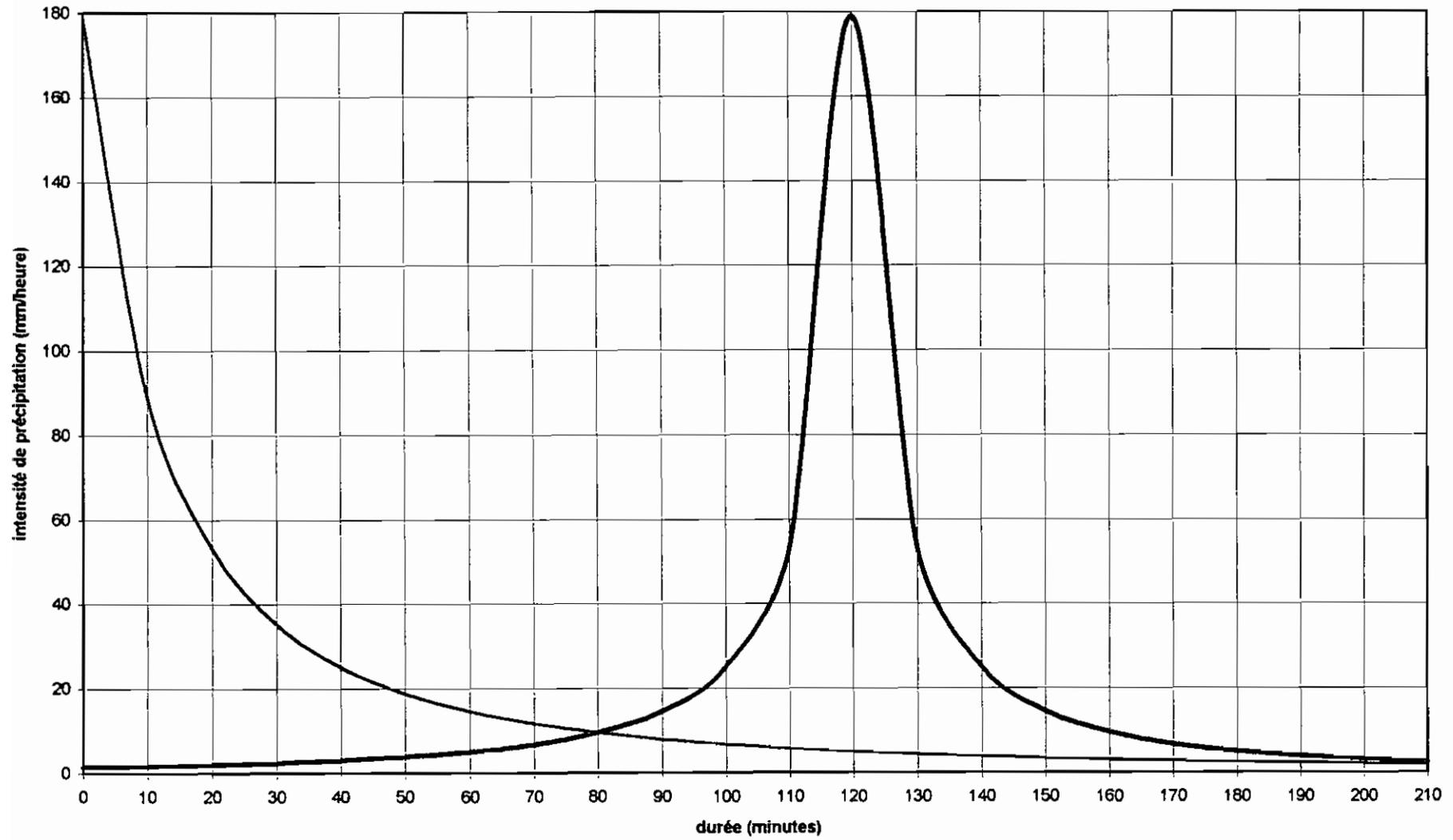
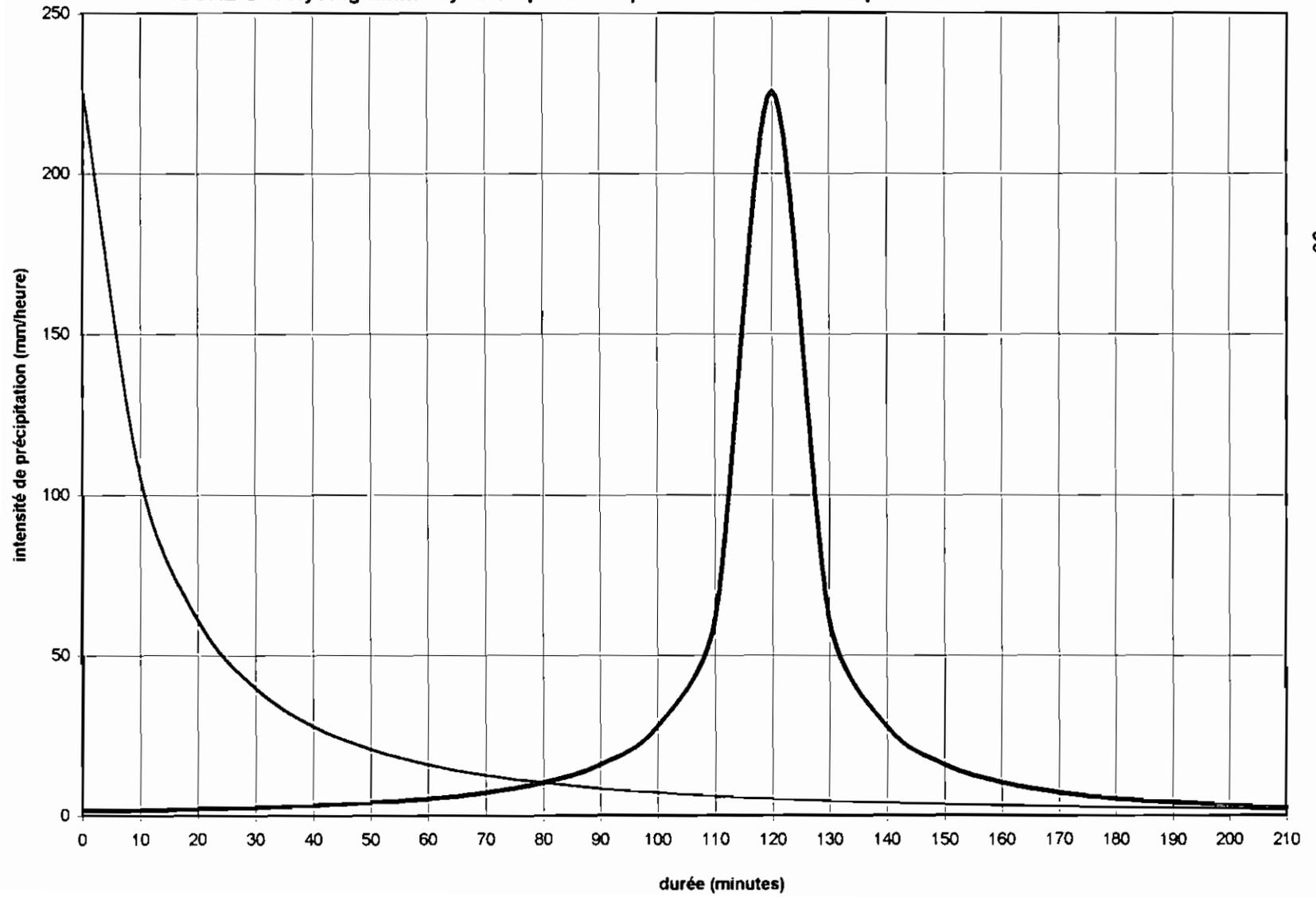


FIGURE 2-5: Hyétogramme synthétique correspondant à l'IDF de fréquence 1/20ans



## **CHAPITRE II : ETUDES TOPOGRAPHIQUES**

### **2-1- INTRODUCTION**

La résolution des problèmes de ruissellement requiert une connaissance approfondie de la surface concernée par le projet. Il serait donc nécessaire de faire la délimitation de cette surface appelée bassin versant et qui correspond à l'unité géographique sur la quelle se base le cycle hydrologique.

Le bassin est caractérisé par plusieurs paramètres physiographiques: la forme, l'altitude moyenne, la pente etc... Ces paramètres sont déterminés à partir de cartes topographiques c'est la raison pour laquelle nous intitulons cette partie études topographiques du sol et à l'occupation des sols du bassin.

### **2-2- DELIMITATION DU BASSIN VERSANT**

Le bassin versant est un secteur géographique qui est limité par les lignes de crêtes ou lignes de rencontre des versants vers le haut ou lignes de partage des eaux.

Un bassin versant peut être décomposé en plusieurs sous-bassins, chacun de ces sous-bassins pouvant être traité de façon indépendante au même titre que le bassin d'où il est tiré. A chaque sous-bassin correspond un secteur élémentaire d'étude pour le calcul des débits.

La délimitation du sous-bassin sur une carte topographique au 1/5000 qui date de 1982 montre que tous les sous-bassins sont drainés vers les dépressions existantes sur le site avant son aménagement (construction du stade, du parking, des lotissement et de la voirie).

Cependant avec la carte de la situation après aménagement (édition 1992), on note une occupation qui s'est accrue de l'exutoire du bassin vers l'amont de ce dernier ce qui a comme effet l'augmentation du bassin-versant donc l'augmentation des débits à l'exutoire due aux ajouts qui se font à mesure que l'occupation se développe. Sur cette carte la division du bassin en sous-bassin est plus simple car les limites sont constituées par les routes ; ainsi on a quatre sous-bassins :

**Sous-bassin I :** derrière le stade de l'Amitié (du pont de la foire jusqu'à la route passant devant la grande porte du stade, entre l'autoroute et la route qui mène vers les Parcelles Assainies Unité 26.

**Sous-bassin II :** constitué du stade et de ses 2 parkings

**Sous-bassin IIIA :** constitué par le quartier de Grand Médine

**Sous-bassin III B :** constitué par les parcelles assainies (Unité 22 et 26)

**Sous-bassin IV :** constitué par le quartier Patte d'Oie Builders.

L'écoulement vers les exutoires se fait de la manière suivante :

- le stade a son exutoire et son système de drainage ;
  - le sous- bassin I a son exutoire qui n'est pas très loin du stade et en cas de surcharge déverse vers l'exutoire du stade qui est situé à une altitude plus basse.
  - le sous bassin IIIA reçoit les eaux du sous bassin IIIB (d'où l'appellation A et B) qui déverse près de la station Mobil.
  - le sous-bassin IIIA et le sous-bassin IV ont le même exutoire que nous allons appeler l'exutoire commun de Grand Médine et Patte d'Oie Builders.
- Ce même exutoire reçoit toutes les eaux venant des autres en cas de surcharge.

## 2-3- CARACTERISTIQUES PHYSIOGRAPHIQUES DU BASSIN VERSANT ET DE SES SOUS-BASSINS

Pour une étude plus fine, nous allons considérer les sous-bassins individuellement. Il s'agira donc de déterminer pour chaque sous bassins ses caractéristiques physiographiques qui sont d'ordre purement géométrique et se calculent à partir des cartes topographiques.

### a) Surfaces

les surfaces des sous bassins sont déterminées par planimétrie sur la carte au 1/2000.

Sous bassin I	:	443.380 m <sup>2</sup>
Sous bassin II	:	279.620 m <sup>2</sup>
Sous bassin IIIA	:	236.400 m <sup>2</sup>
Sous bassin IIIB	:	342.000 m <sup>2</sup>
Sous bassin bassin IV	:	467.400 m <sup>2</sup>

D'où une superficie totale du bassin de 1,7684 km<sup>2</sup>.

Nous pouvons donc dire que le bassin peut être considéré selon la classification des bassins comme un petit bassin versant car sa superficie est très inférieure à 25 km<sup>2</sup>.

Il faut aussi noter que la mesure de surface par planimétrie est délicate.

### b) pentes moyennes

Plusieurs méthodes ont été développées pour la détermination de la pente.

- moyenne pondérée des pentes de surface élémentaires

$$S = \frac{1}{A} \sum (s \, d \, A)$$

$S$  : pente moyenne (m/km)

$s$  : la plus grande pente de l'air élémentaire  $dA$  (en m/km)

D'après Horton une valeur approchée de  $S$  se calcule avec la relation suivante :

$$S = \frac{D \sum l}{A}$$

$S$  : pente moyenne (m/km)

$D$  : différence d'altitude entre deux courbes de niveau (m)

$A$  : aire du bassin versant (km<sup>2</sup>)

$\sum l$  : longueur totale des courbes de niveau (km)  
(définissant la pente moyenne du bassin)

- détermination à partir de la courbe hypsométrique

$$S = \frac{2 E}{L}$$

$E$  : altitude moyenne (m) par rapport à l'exutoire

$L$  : longueur du cours d'eau principale (km)

$$\text{avec } E = \frac{\sum \left[ a + \frac{h_1 + h_2}{2} \right]}{A}$$

$a$  : aire comprise entre deux courbes de niveaux consécutives  
(km<sup>2</sup>)

$h_1$  et  $h_2$  : altitudes des courbes de niveau (m)

$A$  : aire totale du bassin versant,  $\sum a$  (km<sup>2</sup>)

Nous constatons que la formule de Horton est plus précise et est valable pour un relief modéré avec des courbes de niveau simples et uniformément espacées ce qui est le cas ici ; donc la pente moyenne de chaque sous bassin sera calculée avec cette formule.

Des ajustements seront faites avec la carte de 1992 pour ne pas avoir une surestimation des pentes. Les résultats suivants sont obtenus :

**Pentes des sous bassins avec la formule de Horton:**

Sous-bassins	Pentes en %
I	2,1
II	0,83
III A	2,4
III B	1,2
IV	2,8

#### **2-4- COURBES HAUTEURS-VOLUMES DES CUVETTES**

A l'aide des courbes de niveau, on calcule le volume en mesurant les superficies limitées par chacune d'elles et on utilise la formule de la moyenne des bases.

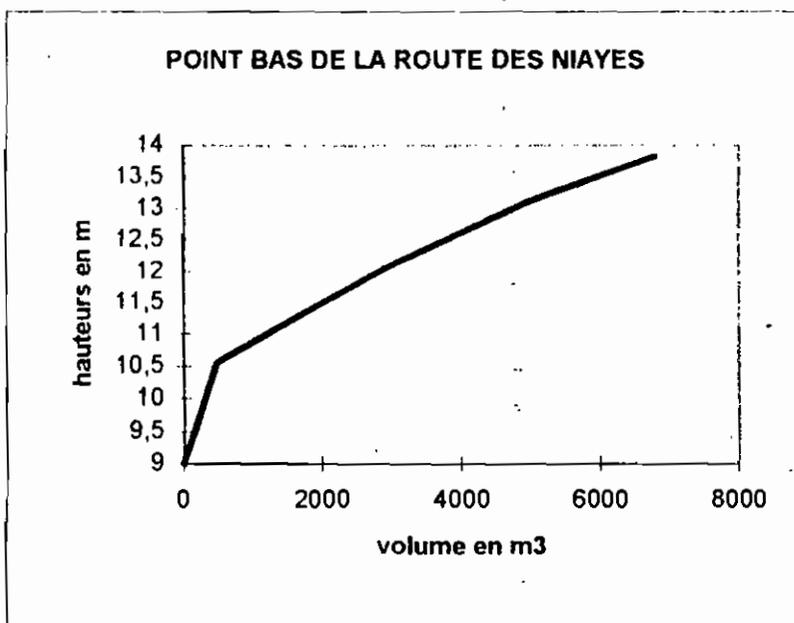
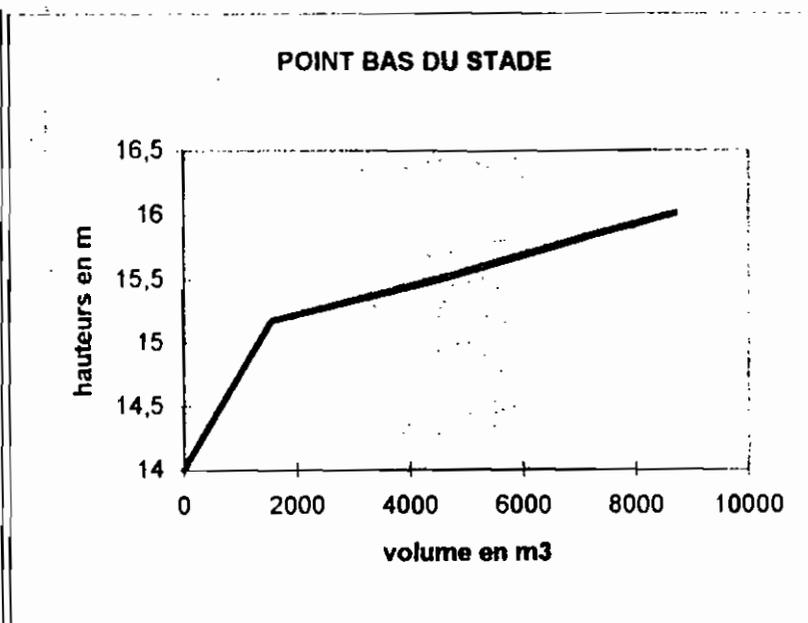
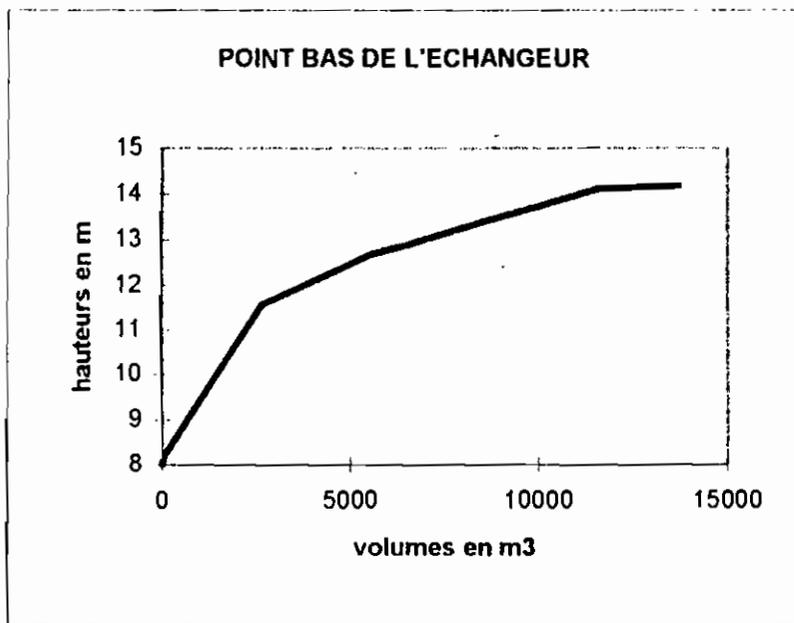
$$V = \frac{L (S_1 + S_2)}{2}$$

L : la différence de niveau entre 2 courbes

S<sub>1</sub> : aire de la section 1

S<sub>2</sub> : aire de la section 2

FIGURE 3: COURBES HAUTEUR\_VOLUME



Les courbes hauteurs volumes des exutoires du point bas de l'échangeur de Grand Médine-Builders et du stade sont montrées aux figures suivantes ; Ces endroits sont les principales aires qui retiennent les eaux de ruissellement du bassin.

## 2-5 - LONGUEUR D'ÉCOULEMENT

La longueur d'écoulement est la longueur des chemins de parcours des eaux de ruissellement d'un point donné jusqu'à l'exutoire. Parmi ces longueurs, les plus importantes sont les longueurs maximales qui sont utilisées pour le calcul des temps de concentration des sous-bassins.

Pour chaque sous bassin la longueur d'écoulement maximum ou plus grand chemin de parcours des eaux est donnée ci-dessous et notée l

Sous-bassins	l en m
I	900
II	750
IIIA	550
IIIB	1050
IV	760

## 2-6- CONCLUSION

En comparant les caractéristiques du bassin versant que nous venons de déterminer avec celles qu'on pourrait avoir avec la carte de 1982 on constate une grande évolution.

En effet l'accroissement de l'occupation du sol a plusieurs conséquences sur la topographie du bassin et sur la variation des débits de ruissellement. En effet, la diminution des pentes peut augmenter légèrement le temps moyen de

cheminement et donc le temps de montée, le temps de base et diminue le volume de ruissellement. D'autre part, l'aménagement progressif amène une diminution des dépressions naturelles et donc une diminution du stockage des eaux de ruissellement, du temps de montée de l'hydrogramme et une augmentation des débits de pointe. Ces deux effets combinés à l'imperméabilisation progressive mènent à une augmentation des débits de ruissellement.

Les caractéristiques du bassin versant influencent le ruissellement de surface. Si l'intensité de la pluie est excessive, l'eau s'écoule par gravité le long des pentes. Une partie de l'eau ruisselle s'accumule d'abord dans les dépressions de la surface, les remplit puis continue sa course vers l'exutoire.

## **CHAPITRE III : TYPES DE SOLS ET OCCUPATION DES SOLS**

### **3-1- INTRODUCTION**

Les types de sols et leur occupation influencent le débit de ruissellement et la quantité d'eau.

Il ne se produit pas de ruissellement tant que le taux de précipitation ne dépasse la capacité d'infiltration du sol. L'occupation du sol influence le taux d'imperméabilisation du bassin donc la capacité d'infiltration, la capacité de stockage ainsi que le cheminement de l'eau. Il est donc nécessaire de déterminer les caractéristique de chaque type de sol du bassin et les pourcentages d'occupation et leur nature

### **3-2- LES TYPES DE SOLS**

Le principal facteur du sol qui influence le ruissellement dans les bassins urbains est la perméabilité. Cette perméabilité peut être déterminée au laboratoire par l'essai de perméabilité ou par des formules empiriques connaissant les caractéristiques géotechniques du sol qui sont la :

- granulométrie (Tamisage + sédimentométrie)
- teneur en eau naturelle
- L'indice de plasticité s'il s'agit de sol à particules fines

Sur le bassin versant nous avons pu identifier trois types de sols :

- type 1 : derrière le stade de l'Amitié
- type 2 : Cité Builders, Grand Médine, Unité 22 ;
- type 3 : Unité 26.

La courbe granulométrique pour chaque type est donnée plus une description détaillée, et la teneur en eau naturelle en annexe.

Nous constatons qu'on est en présence de sols sableux (sables fins et sable argileux) de perméabilité moyenne.

type de sol	description
sol 1	sable argileux
sol 2	sable fin avec des traces d'argile et de silt
sol 3	sable fin et propre

### 3-3-. OCCUPATION DES SOLS

L'occupation du sol permet d'estimer le pourcentage d'imperméabilisation du sol qui est estimé à partir du type d'habitat, des surfaces pavées (parking, Routes, Stations d'essence...) et du couvert végétal pour les terrains non aménagés.

- Type d'habitat

Grand Médine : habitations de type bidonville et très serrées ; banlieue très ancienne avec un pourcentage d'imperméabilisation de 30 %

Patte d'Oie Builders : quartier résidentiel plus moderne où les habitations sont plus grandes que celle de Grand Médine et bien lotissé, 40 % imperméable.

Parcelles assainies : quartier résidentiel moderne et lotissé avec des rues un ~~peu~~ plus larges que celles qu'on a à Grand Médine 30 % imperméable ;

Les lotissements de la Cité BCEAO sont considérés comme un quartier résidentiel moderne et peu perméable compte tenu de sa destination.

- Les surfaces pavées

Hormis le stade et les routes qui séparent les quartiers, seule la Patte d'Oie Builders dispose de chaussées, la station essence Mobil ainsi que la Cité BCEAO dont la construction n'est pas achevée mais nous allons considérer que les maisons seront séparées par des chaussées dessertes.

- Le couvert végétal

Nous sommes en présence d'un bassin urbain dont presque la totalité du bassin est occupée sauf entre le pont Foire et le stade. Dans cette zone on a des arbustes très espacés et des filaos. Le couvert végétal n'est pas très dense donc son influence n'est pas très appréciable et sa contribution au retard du ruissellement et sa capacité de stockage par détention peuvent être négligées.

Le tableau suivant résume les pourcentages d'occupation, de perméabilisation et des types de sols rencontrés dans chaque sous bassin.

SOUS-BASSINS	TYPES DE SOLS			Fraction occupée	Fraction non occupée	% d'imperméabilisation
	1	2	3			
1	0,5	0,5	-	0,2 (résidentielle)	0,8	20%

2	1	-	-	0,7 (butimée) 0,03 (gazonnée) 0,2 (tribune)	0,07	90%
3a	-	1	-	1 (banlieue)	-	30%
3b	-	0,6	0,4	1 (résiden tielle)	-	30%
4		1		1 (résiden tielle)	-	40%

## CONCLUSION

L'urbanisation a comme effet de modifier l'emmagasinement et le degré d'imperméabilisation du sol. En effet, il y a moins d'eau infiltrée dans le sol, moins d'eau retenue par la végétation, moins d'eau retenue dans les dépression superficielles naturelles, accélération du ruissellement à la surface du sol et augmentation du volume de ruissellement vers les exutoires. C'est ce qui explique les inondations récentes de notre zone d'étude. Nous avons la construction du stade, du Pont de la station Mobil, des nouveaux lotissements (BCEAO, Keur Damel) et de l'augmentation de l'occupation dans les autres quartiers du bassin qui sont à l'origine du surcharge de l'exutoire du bassin qui causent d'énormes problèmes pour son exploitation (route qui mène vers les parcelles Assainies) et de ces zones environnantes pendant l'hivernage.

## **CHAPITRE IV: EVALUATION DES DEBITS DE POINTE**

### **4-1-INTRODUCTION**

Toute étude d'un réseau d'assainissement nécessite à l'étape initial la détermination des débits d'eaux pluviales à évacuer. Le problème de l'évaluation des débits pluviaux dans les bassins versants a fait depuis longtemps l'objet de nombreuses études théoriques et en hydrologie urbaine on peut citer plusieurs méthodes d'évaluation des débits pluviaux. La méthode la plus ancienne, la plus utilisée et la plus simple est la méthode "rationnelle". Elle permet de calculer en un certain nombre de points du système l'écoulement des débits maxima pour un orage donné mais elle n'indique pas les temps auxquels ces débits seront atteints.

Cependant, il existe des méthodes qui fournissent des paramètres définissant la forme approximative de l'hydrogramme parmi lesquelles : la méthode S.C.S (Soil Conservation Service) qui la forme de l'hydrogramme est supposée triangulaire ou curviligne.

Ces deux méthodes très utilisés dont les approches sont simples sont recommandées pour les petits bassins urbains. Pour l'évaluation des débits de pointe, nous allons appliquer les deux méthodes au bassin versant.

### **4-2- EVALUATION DES DÉBITS PAR LA METHODE RATIONNELLE.**

#### **4-2-1 : Principe de la méthode**

C'est une méthode basée sur le concept des lignes isochrones.

Le bassin versant est décomposé en secteurs limités par des lignes isochrones tel que l'eau tombant dans le secteur A1 (respectivement A2, .....Aj, ..... An) arrive à l'exutoire au bout d'un temps Dt (respectivement  $2\Delta T$ , ...,  $n\Delta t$ ) comme montré à la figure 1.

### Hypothèses de bases

La simplicité de la méthode repose sur les hypothèses suivantes :

- 1) l'intensité de l'averse est constante tout au long de l'orage sur tout le sous bassin.
  
- 2- le coefficient de ruissellement est constant tout au long de l'orage et ne varie pas d'une averse à l'autre.
  
- 3- La vitesse d'écoulement dans le réseau correspond à la vitesse à la pleine capacité des conduites.
  
- 4- les courbes surface - temps correspond à une droite, ce qui veut dire que les surfaces imperméables sont réparties uniformément à travers le sous-bassin.
  
- 5- Le taux de ruissellement associé à une averse de quelque intensité que ce soit est maximal lorsque l'averse est d'une durée égale au temps de concentration.
  
- 6- le débit maximal d'une averse de durée égale ou supérieure au temps de concentration correspond à une fraction de l'averse : relation directe entre le débit et l'averse (Q et i)
  
- 7- La récurrence du débit maximal est la même que celle de l'averse

8- Le rapport entre le débit maximal et la surface du sous-bassin est la même que celui entre Q et i.

Ainsi, si on considère une averse d'intensité constante i sur un secteur de superficie A ayant un coefficient de ruissellement pondéré C, le débit résultant du ruissellement s'exprime par la relation :

$$Q = KCiA$$

Q = débit (m<sup>3</sup>/s)

C : Coefficient de ruissellement ( $0 \leq C \leq 1$ )

i : intensité d'une averse (mm/h) dont la durée est égale au temps de concentration du sous-bassin.

K : Coefficient d'ajustement

$$Q = 2,75 CiA \cdot 10^{-3} \quad \text{Si A en ha ; i en mm/h}$$

#### 4-2-2- Calcul de temps de concentration des différents sous-bassins

Lors d'une averse uniforme d'intensité i, la contribution maximale du ruissellement à l'exutoire s'obtient lorsque la durée de l'averse est au moins égale au temps de concentration, ce qui est équivalent, lorsque tout le bassin contribue au débit à l'exutoire à un instant donné. Le temps de concentration noté  $t_c$  peut être estimé par différentes formules empiriques :

formule de Kirpich

$$t_c = 0,01947 L^{0,77} P^{-0,385} \quad (\text{en minutes}).$$

L est la longueur du plus long parcours hydraulique (m)

B est la pente  $H/L$ , où H est la différence entre les deux élévations extrêmes du bassin (m)

Formule de Mockus

$$t_c = t_l / 0,6 \text{ (minutes)}$$

$t_l$  = lag: délai du bassin (minutes) c'est le temps écoulé entre le centre de gravité de l'hyétogramme de l'averse et la pointe de l'hydrogramme.

- Formule de Passini

$$t_c = 64,8 \frac{\sqrt[3]{L.A}}{\sqrt{P}} \text{ (minutes)}$$

L est la longueur du plus long parcours hydraulique en km

A est la surface du sous bassin en km<sup>2</sup>

P est la pente moyenne du sous bassin en %

- Formule de Ventura :

$$t_c = 76,3 \sqrt{\frac{A}{P}} \text{ (minutes)} \quad \text{où A et P sont définies ci-dessus.}$$

L'application des formules de Passini et de Ventura à chaque sous bassin donne les résultats obtenus au tableau 4-1.

Nous avons ainsi pris  $t_c$  égale à une valeur proche de la moyenne des différents  $t_c$  calculés.

**TABEAU 4-1: ESTIMATION DES TEMPS DE CONCENTRATION  
DES SOUS-BASSINS EN MINUTES**

sous bassins	1	2	3a	3b	4
Pm( en % )	2,1	2	2,4	1,2	2,8
L (en m)	900	750	550	1050	760
S (en Km <sup>2</sup> )	0,44338	0,2757	0,2364	0,342	0,4674

temps de concentration en minutes

PASSINI	32,92	27,10	21,19	42,05	27,43
VENTURA	35,06	28,33	23,95	40,73	31,17
moyenne	33,99	27,71	22,57	41,39	29,30
tc=	35	25	25	45	30

### **4-2-3 - Estimation des coefficients de ruissellement des différents sous-bassins**

Le coefficient de ruissellement figure parmi l'un des variables les plus arbitraires de la méthode rationnelle ; il représente la fraction des eaux pluviales qui vont ruisseler sur une aire donnée. Ce coefficient varie en fonction de la nature du sol, de la pente du terrain et de l'occupation du sol.

Ce sont des variables abstraites qui ont besoin pour être définies d'une visualisation des différentes portions d'occupation des sols, d'une étude de la nature des sols et de la topographie du bassin.

L'étude géotechnique des différents échantillons de sols rencontrés sur le terrain nous a permis de faire une classification des sols de chaque sous bassin

Avec la carte d'occupation du sol et la visite effectuée sur le terrain nous avons pu caractériser les zones d'occupation par l'estimation de la densité (nombre de logements à l'hectare) et par l'analyse de la part d'occupation des éléments suivants :

- emprise du bâti
- zones pavées (chaussées et parking)
- espaces libres

Avec la carte topographique de 1982 et en tenant compte des nouveaux aménagements, les pentes des sous bassins ont été calculées précédemment.

Le tableau 4-2 suivant donne des coefficients pour différentes surfaces et pour différents secteurs 2

Le coefficient de ruissellement moyen d'un sous bassin est évalué de la manière suivante

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

C : coefficient de ruissellement du secteur i

A<sub>i</sub> : surface du secteur i

Nous avons obtenu les résultats suivants :

DESIGNATION DES ZONES ID'après les catégories d'urbanisation	NATURE DU SOL			PENTE EN FONCTION DE LA PENTE DE LA ZONE	
	LEGER (1)	MOYEN (2)	LOUÉ (3)	TERRAIN PLAT < 1°	TERRAIN PÉNU > 7°
Zone agglomérée - secteur dense - centre - 110 à 100 logements/m²	0,45	0,30	0,30	0,95	1,05
Secteur urbain - centre ou quartier - 110 à 150 logements/m²	0,75	0,60	0,60	0,90	1,05
Banlieue agglomérée - 100 à 100 logements/m²	0,50	0,55	0,60	0,90	1,1
Banlieue éparpillée - secteur collectif et pavillonnaire - 40 à 40 logements/m²	0,40	0,45	0,50	0,9	1,2
Zone pavillonnaire - 10 à 40 logements/m²	0,30	0,35	0,40	0,9	1,2
Zone résidentielle - 10 à 40 logements/m²	0,25	0,35	0,40	0,9	1,2
Zone pavillonnaire Grand standing - 10 à 20 logements/m²	0,20	0,40	0,35	0,9	1,2
Village rural (traditionnel)	0,15	0,20	0,25	0,75	1,25
Zone d'habitat de très faible densité - 1 à 5 logements/m²	0,08	0,10	0,15	0,75	1,25
Zone d'habitat très ancien	0,40	0,50	0,60	0,9	1,2
Zone industrielle et artisanale	0,40	0,50	0,70	0,9	1,2
Zone industrielle lourde	0,60	0,70	0,80	0,95	1
Zone portuaire	-	0,60	-	0,95	1
Gare routière et entrepôts	0,75	0,80	0,85	0,95	1
Gare et entrepôt SIFP	0,15	0,20	0,30	0,75	1,05
Services publics : hôtelier, centre administratif et zone d'équipements	0,25	0,45	0,60	0,95	1,1
Centre de repos et hospitalier, zone récréative à dominante verte	0,05	0,20	0,60	0,95	1,1
Centre scolaire et commercial	0,10	0,30	0,35	0,9	1,1
Terrain de sport, terrain de jeu	0,10	0,30	0,45	1	1,1
Aérodrome et terrain militaire	0,15	0,30	0,45	1	1,25
Crénelage urbain	0,30	0,40	0,50	0,75	1,25
Entreprixe ferroviaire	0,04	0,10	0,15	0,95	1
Emprixe autoroute	0,30	0,60	0,55	0,95	1
Emprixe route nationale et chemin départemental	0,30	0,60	0,60	0,9	1
Emprixe voies urbaines rapides	-	0,60	0,60	1	1
Emprixe autres voies urbaines	-	0,60	0,60	1	1
Emprixe échangeurs et carrefours	-	0,60	0,60	1	1
Chaussées et dérivés	0,40	0,50	0,60	0,95	1
Dallage béton	-	0,40	-	0,95	1
Pavage terre ou joint coupé	-	0,90	-	0,95	1,05
Pavage terre joint scabie	0,55	0,75	-	1,1	1,1
Circonscription allées - voies en macadam - accotement stabilisé	0,50	0,60	0,70	0,9	1,1
Allée en gravier	0,30	0,35	0,45	0,9	1,1
Allée verte - zone de stationnement	0,10	0,15	0,25	0,75	1,25
Espaces libres - zone de stationnement et zone non aménagées	0,10	0,15	0,20	0,75	1,25
Zone ciciste - trottoir, parcs et jardins	0,05	0,10	0,15	0,50	1,25
Forêts, bois et jardins	0,01	0,04	0,10	0,50	1,2
Terrains de culture - céréales	0,08	0,08	0,10	0,75	1,25
Prés et pâturages	0,05	0,07	0,08	0,75	1,25
Carrées ou prés	0,20	-	0,30	0,9	1,25
Terrains nus (sans végétation ni culture)	0,04	0,15	0,30	0,5	1,5

(1) Soils sableux, gravelleux et très perméables.

(2) Terrains argileux courants.

(3) Soils argileux, rochers, peu perméables.

TABLEAU 4-2

Sous-bassins	Nature de la superficie	Fraction de A	Coefficient de ruissellement	Fraction du coef. de ruiss
I 1% < pente < 7 %	zone résidentielle sols sableux	0,2	0,4	0,08
	Espaces libres sols sableux	0,3	0,1	0,03
	Espaces libres sable argileux	0,5	0,2	<u>0,1</u> 0,21
II pente < 1 % 0,83 %	Chaussées et	0,8	0,8 x 0,95	0,608
	parking	0,03	0,25 x 0,9	0,00675
	Zone gazonnée			
	Espace libre sur sable argileux	0,17	0,3 x 0,75	<u>0,03825</u> 0,7
IIIA 1% < pente < 7 %	Zone résidentielle sol sableux	1	0,25	0,25
IIIB	Zone résidentielle sol sableux	0,6	0,25	0,15
	Zone résidentielle	0,4	0,25	<u>0,1</u> 0,25
IV 1% < pente < 7 %	Zone résidentielle sur sol sableux avec zone pavée	1	0,3	0,3

#### **4-2-4- Estimation des débits de pointe**

Les débits de pointe ont été estimés pour les périodes de retour 1 an, 2 ans, 5 ans, 10 ans et 20 ans. Les résultats sont donnés au tableau 4-3

#### **4-2-5- Conclusion**

Il faut donc dire que l'utilisation de la méthode rationnelle est souvent trompeuse ; en effet les courbes IDF sont le résultat d'analyse statistiques, le ruissellement correspondant à une pluie de fréquence donnée ne correspond pas nécessairement à la même fréquence. Le débit de ruissellement est fonction d'autres paramètres qui ne sont pas traduits par les courbes IDF.

Il est possible qu'une pluie de fréquence 2 ans au moment où le sol perméable est saturé, génère des débits pluviaux équivalents ou supérieurs à ceux associés à une intensité d'une fréquence de 5 ans au moment où le sol est sec. La méthode rationnelle ne peut traduire cette subtilité.

Toutefois, malgré ces hypothèses, la méthode rationnelle peut, lorsqu'elle est utilisée avec soin, refléter avec plus ou moins de précision le débit maximal de ruissellement auquel on peut s'attendre pour les petits bassins versants.

**TABLEAU 4-3: ESTIMATION DES DEBITS DE POINTE DES DIFFERENTS SOUS-BASSIN PAR LA METHODE RATIONNELLE**

sous-bassins	surfaces en km <sup>2</sup>	coefficient de ruissellement C	temps de concentration tc (en minutes)	intensité i en mm/heure	débit de pointe Qmax(m3/s)	intensité i en mm/heure	débit de pointe Qmax(m3/s)	intensité i en mm/heure	débit de pointe Qmax(m3/s)	intensité i en mm/heure	débit de pointe Qmax(m3/s)	intensité i en mm/heure	débit de pointe Qmax(m3/s)
				fréquence 1/1 ans		fréquence 1/2 ans		fréquence 1/5 ans		fréquence 1/10 ans		fréquence 1/20 ans	
1	0,44338	0,21	35	32,73	0,85	38,34	1,00	58,81	1,53	72,80	1,90	86,05	2,24
2	0,27962	0,7	25	37,99	2,08	44,73	2,45	70,12	3,84	87,66	4,80	104,36	5,72
3A	0,2364	0,25	25	37,99	0,63	44,73	0,74	70,12	1,16	87,66	1,45	104,36	1,73
3B	0,342	0,25	45	28,75	0,69	33,55	0,80	50,64	1,21	62,25	1,49	73,21	1,75
4	0,4674	0,3	30	35,16	1,38	41,29	1,62	63,96	2,51	79,54	3,12	94,33	3,70

### 4.3. ESTIMATION DES DEBITS DE POINTE PAR LA METHODE S.C.S

#### 4-3-1- Principe de la méthode

Le volume de ruissellement  $Q$  dépend de la pluie  $P$  et du volume d'emménagement disponible pour la rétention. La rétention  $F$  étant la différence entre le volume précipité et le ruissellement. En outre, un certain volume de la précipitation n'apparaît pas au ruissellement au début de la pluie cette quantité perdue et notée  $I_a$  est l'abstraction initiale.

La méthode SCS tient compte des pertes par rétention superficielle, de l'emménagement dans les dépressions et de l'infiltration qui retardent le commencement du ruissellement.

La relation pluie-ruissellement est donnée par :  $\frac{F}{S} = \frac{Q}{P - I_a}$

où  $S$  est le potentiel maximum de rétention.

et la rétention  $F = (P - I_a) - Q$

d'où

$$\frac{(P - I_a) - Q}{S} = \frac{Q}{P - I_a}$$

et

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S}$$

$I_a$  est fonction de la nature du sol, du couvert végétal, des conditions d'interception, d'infiltration, de stockage dans les dépressions et des

conditions initiales d'humidité du sol. La formule empirique suivante permet une estimation de la  $I_a = 0,2 S$

d'où

$$Q = \frac{(P - 0,2 S)^2}{P + 0,8 S} \text{ (en pouces)}$$

Des études empiriques donnent une estimation de S

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \text{ (en pouces)}$$

CN est appelé runoff curve number, qui est une fonction de l'utilisation du sol, des conditions antécédentes d'humidité, et d'autres facteurs affectant le ruissellement et la rétention.

#### **4-3-2-Estimation des CN (Curve Number)**

La méthode SCS développe un indice CN qui représente les effets hydrologiques combinées du sol, son utilisation, le traitement agricole, les conditions hydrologiques, l'humidité antécédente du sol.

La méthode SCS classifie les sols selon 4 groupes

Groupe A : potentiel de ruissellement faible et de taux d'infiltration élevé (sable et gravier) taux d'infiltration min = 0,3 à 0,45 in/h

Groupe B : sol modérément bien drainé, taux d'infiltration moyen (sable fin, limons) taux d'infiltration min 0,15 à 0,3 in/h

Groupe C : taux d'infiltration faible (présence probable d'une couche ralentissant le passage de l'eau) terres argileuses, terres sableuses, très fines, sols organiques. Taux d'infiltrations minimum = 0,05 à 0,15 in/h)

Groupe D : potentiel de ruissellement élevé, taux d'infiltration très faible (principalement des argiles avec une nappe phréatique élevée)

Taux d'infiltration min 0 à 0,05 pouces/h

Le groupe peut être identifié par

- les caractéristiques du sol
- le taux d'infiltration minimum du sol (par analyse)
- inspection visuelle du sol (avec une description détaillée)

Les conditions antécédents d'humidité divise les sols en 3 groupes

CAH : Description de l'humidité de pluie totale des 5 jours antécédentes précédents (en pouces)

- |     |   |                       |           |
|-----|---|-----------------------|-----------|
| I   | : | relativement sec      | 0 à 0,5   |
| II  | : | relativement humide   | 0,5 à 1,1 |
| III | : | sol saturé plus de 11 |           |

CN est donné au tableau suivant pour chaque groupe de sol en fonction de son utilisation, son traitement et ses conditions hydrologiques)

Tableau 4 -4(SCS)

#### **4-3-3- Estimation des temps de concentration des sous-bassins**

la méthode SCS définit le temps de concentration comme étant le temps mis par l'eau pour s'écouler du point le plus éloigné de l'exutoire jusqu'à atteindre celle-ci , c'est-à-dire le point qui le plus long chemin hydraulique. Ce temps est calculé par deux méthodes dont la plus simple est celle du lag (délai du bassin) (Elle est donnée par la formule suivante :

$$L = \frac{l^{0,8} (S + 1)^{0,7}}{1900 Y^{0,5}}$$

TABLE 2. Runoff Curve Numbers for Hydrologic Soil-Cover Complexes  
(Antecedent Moisture Condition II, and  $I_a = 0.2'S$ )

Land Use Description/Treatment/Hydrologic Condition			Hydrologic Soil Group			
			A	B	C	D
Residential: <sup>1/</sup>						
Average lot size	Average % Impervious <sup>2/</sup>					
1/8 acre or less	65		77	85	90	92
1/4 acre	38		61	75	83	87
1/3 acre	30		57	72	81	86
1/2 acre	25		54	70	80	85
1 acre	20		51	68	79	84
Paved parking lots, roofs, driveways, etc. <sup>3/</sup>			98	98	98	98
Streets and roads:						
paved with curbs and storm sewers <sup>3/</sup>			98	98	98	98
gravel			76	85	89	91
dirt			72	82	87	89
Commercial and business areas (85% impervious)			89	92	94	95
Industrial districts (72% impervious)			81	88	91	93
Open Spaces, lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.						
good condition: grass cover on 75% or more of the area			39	61	74	80
fair condition: grass cover on 50% to 75% of the area			49	69	79	84
Fallow	Straight row	---	77	86	91	94
Row crops	Straight row	Poor	72	81	88	91
	Straight row	Good	67	78	85	89
	Contoured	Poor	70	79	84	88
	Contoured	Good	65	75	82	86
	Contoured & terraced	Poor	66	74	80	82
	Contoured & terraced	Good	62	71	78	81
Small grain	Straight row	Poor	65	76	84	86
		Good	63	75	83	87
	Contoured	Poor	63	74	82	85
		Good	61	73	81	84
	Contoured & terraced	Poor	61	72	79	82
		Good	59	70	75	81
Close-seeded legumes <sup>4/</sup> or rotation meadow	Straight row	Poor	66	77	85	89
		Good	58	72	81	85
	Contoured	Poor	64	75	83	85
		Good	55	69	75	83
	Contoured & terraced	Poor	63	73	80	83
		Good	51	67	76	80
Pasture or range		Poor	68	79	86	89
		Fair	49	69	79	84
	Contoured	Good	39	61	74	80
		Poor	47	67	81	88
	Contoured	Fair	25	59	75	83
		Good	6	35	70	79
Meadow		Good	30	58	71	78
Woods or Forest land		Poor	45	66	77	83
		Fair	36	60	73	79
		Good	25	55	70	77
Farmsteads		---	59	74	82	86

<sup>1/</sup> Curve numbers are computed assuming the runoff from the house and driveway is directed towards the street with a minimum of roof water directed to lawns where additional infiltration could occur.

<sup>2/</sup> The remaining pervious areas (lawn) are considered to be in good pasture condition for these curve numbers.

<sup>3/</sup> In some warmer climates of the country a curve number of 95 may be used.

<sup>4/</sup> Close drilled or broadcast.

**sous bassin 2**

zone pavée: CN = 95

zone gazonée: CN = 74

zone nue: CN = 79

                    CN = 88,26

**sous bassin 1**

zone résidentielle (groupe C) CN = 75

zone non habitée (classe C) CN = 69

zone non habitée (classe B) CN = 49

                    CN = 64,2 PRENONS 60

**sous bassin 3a et 3b**

zone résidentielle, imperméable à 30% (classe B) CN = 68 prenons 65

**sous bassin 4**

résidentielle et imperméable à 40% CN = 70

- L = est le lag en heures;  
 S = potentiel de rétention maximum  
 l = le plus long chemin hydraulique en feet  
 Y = La pente en %

Les temps de concentration des sous-bassins sont donnés par le tableau 5.

#### **4-3-4- Calcul des hydrogrammes de ruissellement à l'exutoire des sous bassins**

La forme de l'hydrogramme est triangulaire ou curviligne

Soient:  $t_p$  = temps de montée

L = délai du bassin

D = durée de l'averse

$T_b$  = temps de base

$t_r$  = temps de décrue

$q_p$  = le débit de pointe

Le volume de ruissellement est :

$$V = \frac{q_p \times t_p}{2} + \frac{q_p \times t_r}{2} = \frac{q_p}{2} (t_p + t_r)$$

$$d'où \quad q_p = \frac{2V}{t_p + t_r}$$

$$\text{avec } t_r = 1.67 t_p$$

$$t_c + D = 1.7 t_p$$

$$D/2 + 0.6 t_c = t_p$$

Après le calcul de l'hydrogramme unitaire pour une durée de pluie nette D (D = 15 min , pas de temps choisi), pour chaque averse d'une durée D de l'hyétogramme synthétique on construit , l'hydrogramme de ruissellement par proportionnalité de l'hydrogramme unitaire.

TBLEAU 4-5: valeurs des CN, S, tc (par la méthode du lag), tr, tp

T=1 an

sous-bassins	A(m <sup>2</sup> )	A(km <sup>2</sup> )	CN	S	Yen %	l(ft)	Len h	Tc (h)	tp (h)	tr (h)	Tb (h)
1	443380	0,443	60	6,667	2,1	2953	0,903	1,505	1,003	1,6751	2,6748
2	279620	0,28	88	1,364	0,83	2461	0,545	0,908	0,605	1,0105	1,6136
3A	236400	0,236	65	5,385	2,4	1785	0,497	0,828	0,552	0,9215	1,4714
3B	342000	0,342	65	5,385	1,35	3117	1,034	1,724	1,149	1,9193	3,0647
4	467400	0,467	70	4,286	2,8	2494	0,526	0,877	0,585	0,9767	1,5596

T= 2 ans

sous-bassins	A(m <sup>2</sup> )	A(km <sup>2</sup> )	CN	S	Yen %	l(ft)	Len h	Tc (h)	tp (h)	tr (h)	Tb (h)
1	443380	0,443	60	6,667	2,1	2953	0,903	1,505	1,003	1,6751	2,6748
2	279620	0,28	88	1,364	0,83	2461	0,545	0,908	0,605	1,0105	1,6136
3A	236400	0,236	65	5,385	2,4	1785	0,497	0,828	0,552	0,9215	1,4714
3B	342000	0,342	65	5,385	1,35	3117	1,034	1,724	1,149	1,9193	3,0647
4	467400	0,467	70	4,286	2,8	2494	0,526	0,877	0,585	0,9767	1,5596

T=6 ans

sous-bassins	A(m <sup>2</sup> )	A(km <sup>2</sup> )	CN	S	Yen %	l(ft)	Len h	Tc (h)	tp (h)	tr (h)	Tb (h)
1	443380	0,443	60	6,667	2,1	2953	0,903	1,505	1,003	1,6751	2,6748
2	279620	0,28	88	1,364	0,83	2461	0,545	0,908	0,605	1,0105	1,6136
3A	236400	0,236	65	5,385	2,4	1785	0,497	0,828	0,552	0,9215	1,4714
3B	342000	0,342	65	5,385	1,35	3117	1,034	1,724	1,149	1,9193	3,0647
4	467400	0,467	70	4,286	2,8	2494	0,526	0,877	0,585	0,9767	1,5596

T= 10 ans

sous-bassins	A(m <sup>2</sup> )	A(km <sup>2</sup> )	CN	S	Yen %	l(ft)	Len h	Tc (h)	tp (h)	tr (h)	Tb (h)
1	443380	0,443	60	6,667	2,1	2953	0,903	1,505	1,003	1,6751	2,6748
2	279620	0,28	88	1,364	0,83	2461	0,545	0,908	0,605	1,0105	1,6136
3A	236400	0,236	65	5,385	2,4	1785	0,497	0,828	0,552	0,9215	1,4714
3B	342000	0,342	65	5,385	1,35	3117	1,034	1,724	1,149	1,9193	3,0647
4	467400	0,467	70	4,286	2,8	2494	0,526	0,877	0,585	0,9767	1,5596

T=20 ans

sous-bassins	A(m <sup>2</sup> )	A(km <sup>2</sup> )	CN	S	Yen %	l(ft)	Len h	Tc (h)	tp (h)	tr (h)	Tb (h)
1	443380	0,443	60	6,667	2,1	2953	0,903	1,505	1,003	1,6751	2,6748
2	279620	0,28	88	1,364	0,83	2461	0,545	0,908	0,605	1,0105	1,6136
3A	236400	0,236	65	5,385	2,4	1785	0,497	0,828	0,552	0,9215	1,4714
3B	342000	0,342	65	5,385	1,35	3117	1,034	1,724	1,149	1,9193	3,0647
4	467400	0,467	70	4,286	2,8	2494	0,526	0,877	0,585	0,9767	1,5596

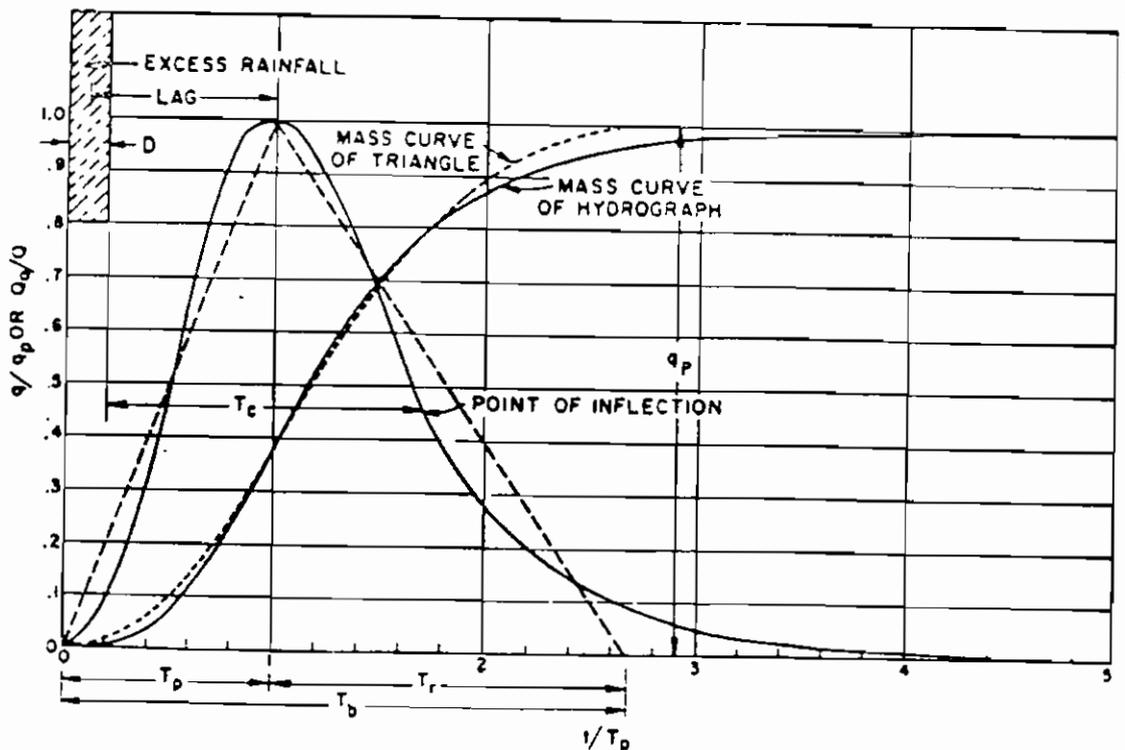
D'abord il suffit de multiplier les ordonnées de l'hydrogramme unitaire par les intensités moyennes de chaque averse élémentaire et par la surface du bassin puis décaler dans le temps chaque courbe de 15 minutes et enfin sommer leurs ordonnées.

$$Q_p = \frac{q_p \times A}{\frac{D}{2} + 0.6 t_c}$$

Nous remarquons que les temps de concentration donnés par la méthode du lag sont irréalistes; donc pour les calculs nous allons utiliser les temps fournis par les méthodes empiriques au tableau 4-1.

Le tableau 4-5 et les courbes de la figure 4 donnent les hydrogrammes de ruissellement de chaque sous-bassin.

Les hydrogrammes sont calculés à l'aide d'un programme informatique.



**tableau 4-5: hydrogrammes de ruissellement des sous-bassins**

sous-bassins	2	1	3a	3b	4
temps	débits en m <sup>3</sup> /s				
15	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0
75	0	0	0	0	0
90	0,019	0	0	0	0
105	0,227	0	0	0	0,001
120	2,405	0,66	0,543	0,786	1,546
135	4,499	1,468	1,188	1,718	3,334
150	3,512	1,304	1,018	1,472	2,781
165	2,251	0,953	0,721	1,043	1,921
180	0,931	0,506	0,359	0,519	0,907
195	0,368	0,266	0,177	0,255	0,419
210	0,244	0,18	0,119	0,172	0,28
225	0,175	0,3	0,086	0,124	0,202
240	0,132	0,099	0,065	0,094	0,153
255	0,09	0,068	0,044	0,064	0,105
270	0,045	0,034	0,022	0,032	0,052
285	0,017	0,013	0,009	0,012	0,02
300		0,003	0,002	0,002	0,004

figure 4-1: hydrogramme de ruissellement à l'exutoire du sous-bassin 1; scénario: hyétoqramme synthétique de fréquence 1/10 ans

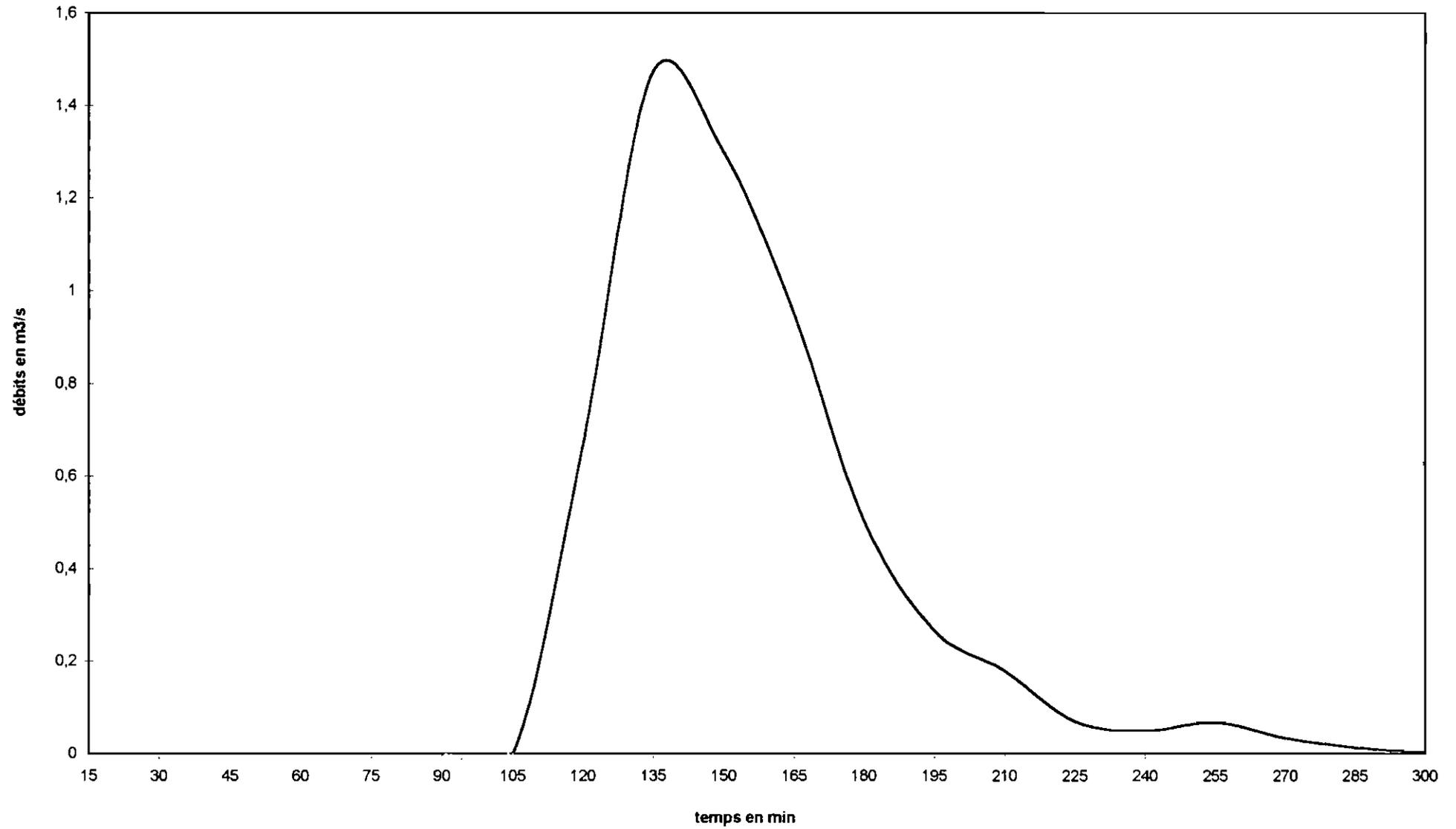


figure 4-2: hydrogramme de ruissellement à l'exutoire du sous-bassin 3b; scénario hyétogramme synthétique de fréquence 1/10 ans

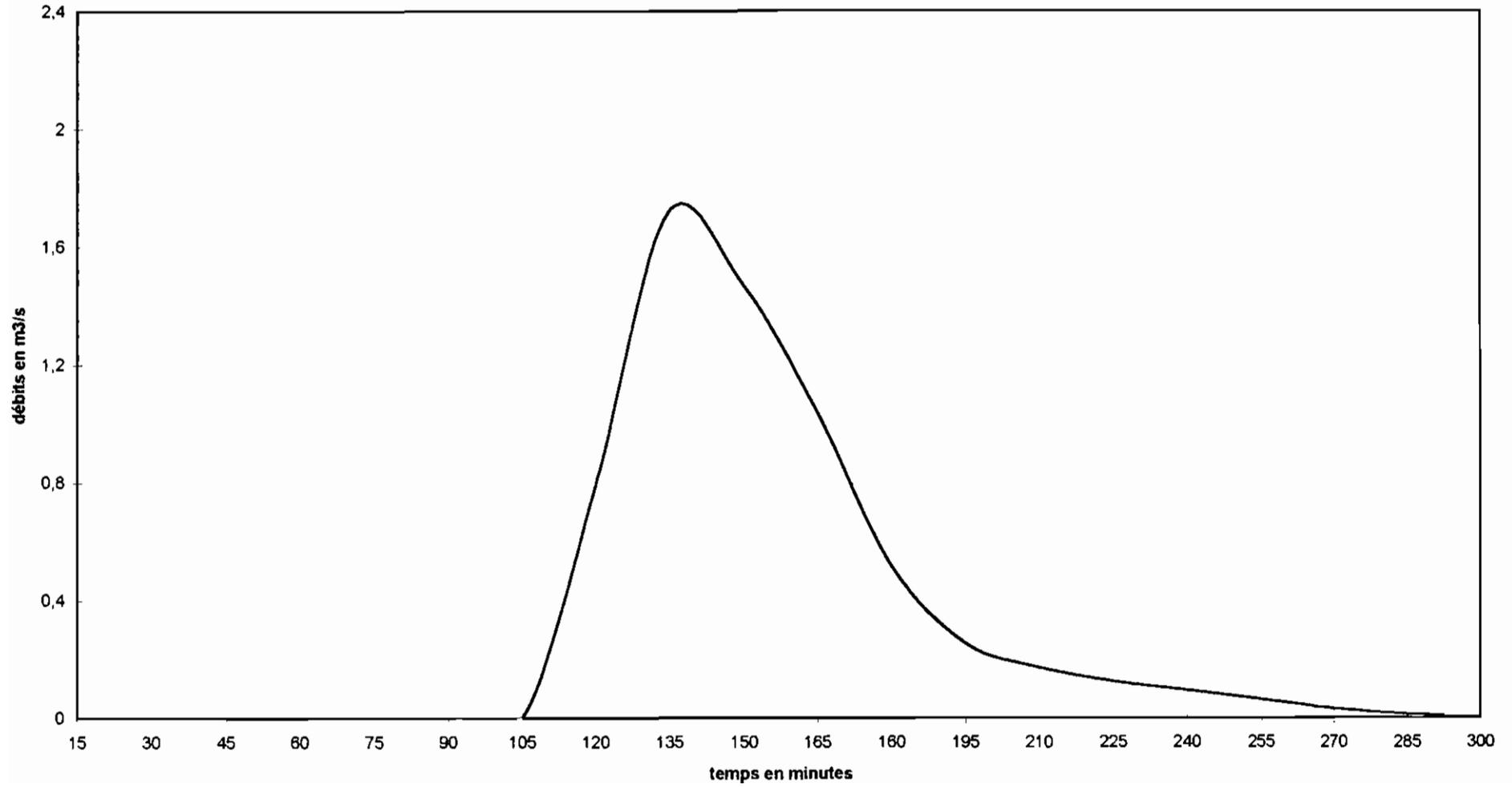


figure 4-3: hydrogramme de ruissellement à l'exutoire du sous-bassin 3a; scénario: hyétogramme synthétique de fréquence 1/10 ans

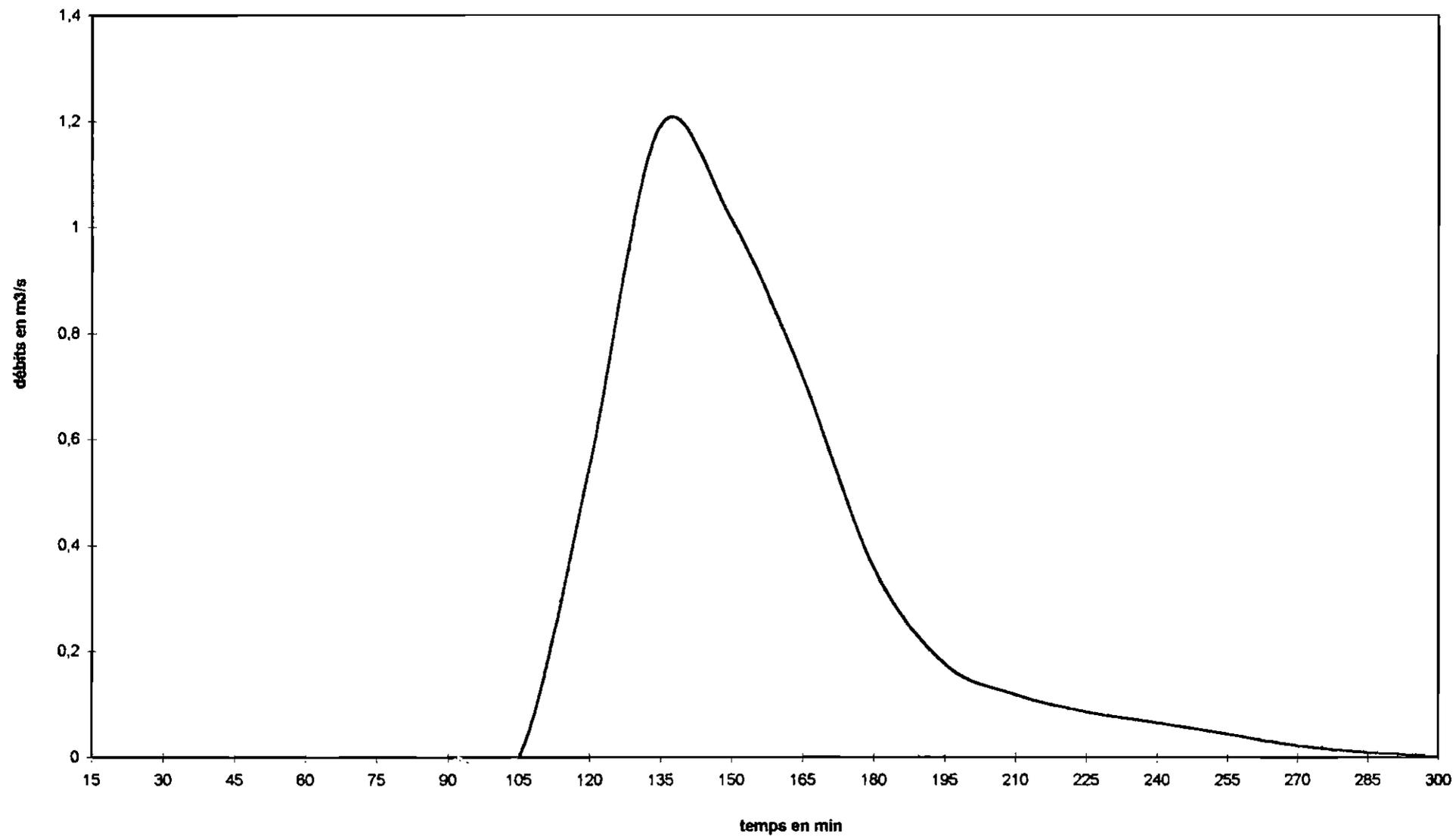


figure 4-4: hydrogramme de ruissellement à l'exutoire du sous bassin 4; scénario hyétogramme synthétique de fréquence 1/10 ans

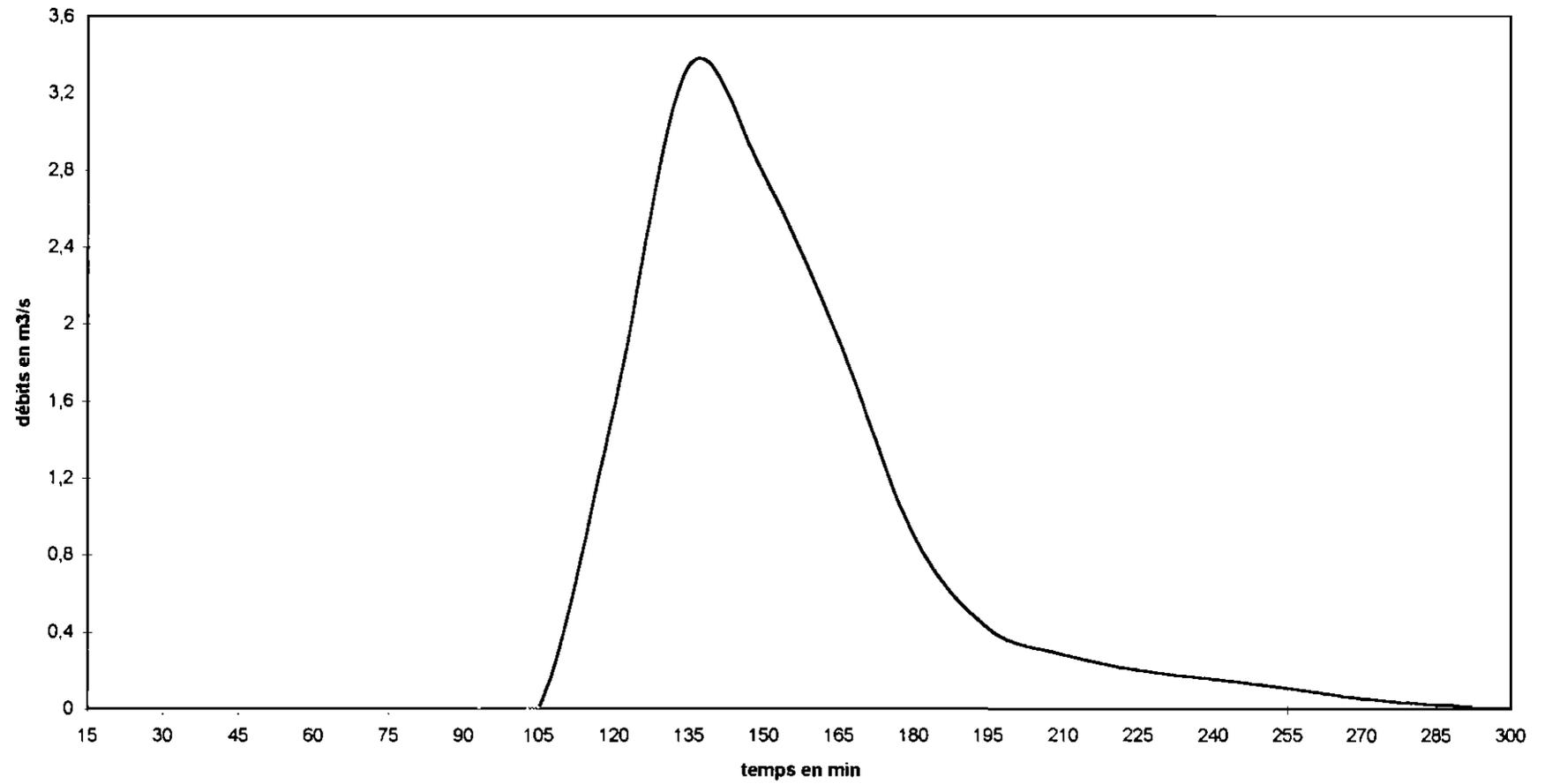
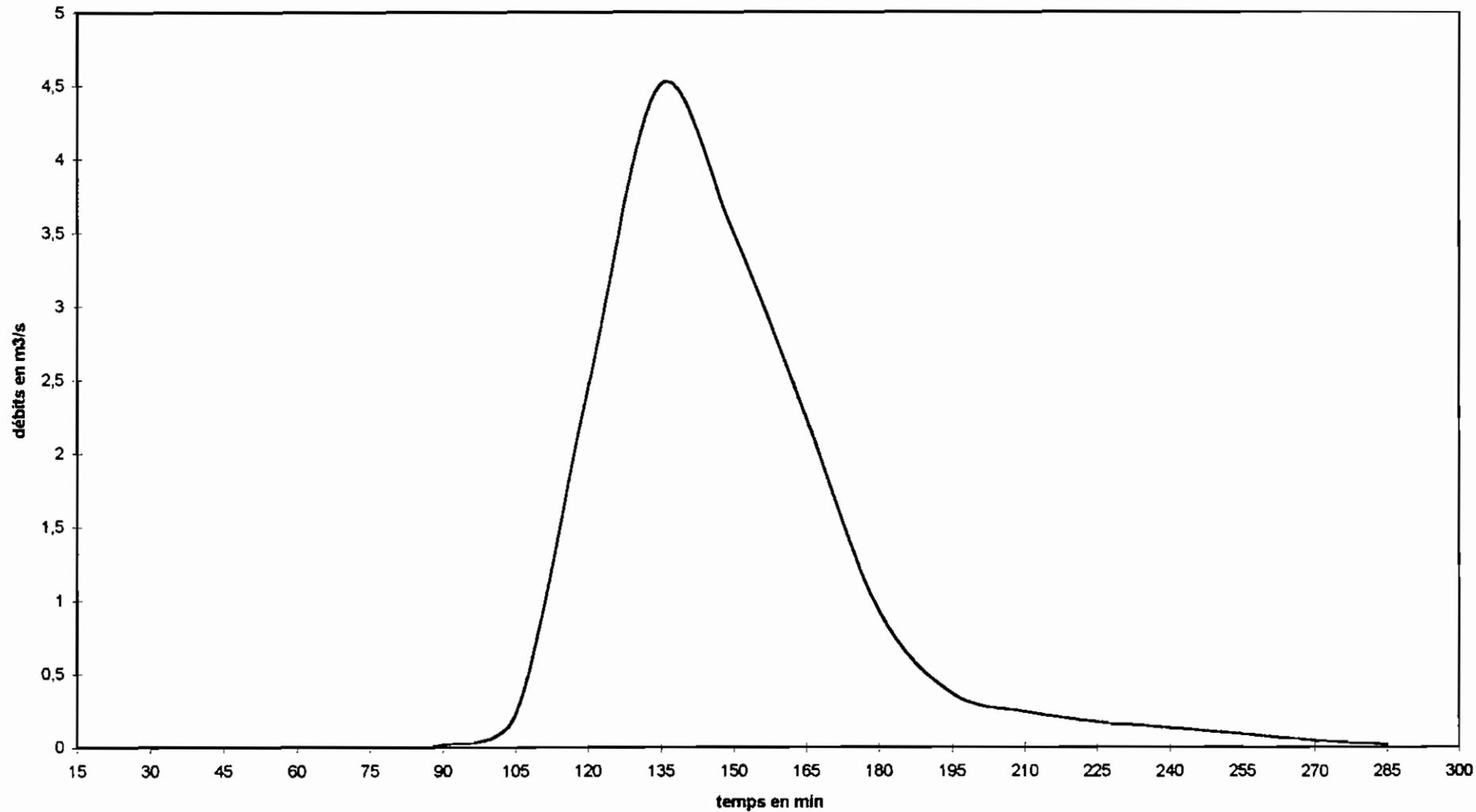


figure 4-6: hydrogramme de ruissellement à l'exutoire du stade; scénario hyétogramme synthétique de fréquence 1/10ans



72

## **CHAPITRE V : PROPOSITIONS D'AMÉNAGEMENT**

Dans cette partie du projet il s'agira de proposer des aménagements pour les zones inondables et de concevoir un système de drainage des eaux de ruissellement.

La philosophie traditionnelle de design des systèmes de drainage recherche le maximum de confort à un site particulier par l'élimination la plus rapide possible du ruissellement après une averse à l'aide d'un système de drainage sous la surface du sol. A l'heure actuelle, la philosophie traditionnelle subit un changement important de direction. La nouvelle méthode de design place une emphase sur la retenue temporaire des eaux de ruissellement en certains endroits. Cette nouvelle approche, lorsque appliquée à certains endroits dans le système de drainage a comme effet bénéfique de réduire les débits de pointe dans la conduite en aval des points de retenue incorporée.

Cette technique trouve son application dans notre zone d'étude car les débits de ruissellement sont très élevés ce qui nécessiterait de gros diamètres des conduites donc des coûts très importants si on les dimensionnait pour les débits de pointes. En plus la topographie du terrain offre des endroits adaptés à la retenue des eaux de ruissellement.

L'application efficace de ces techniques de retenue temporaire se fera avec l'insertion des bassins de retenue dans le réseau de drainage qui auront comme effet de réduire les débits d'écoulement dans les conduites aval, donc une réduction des diamètres.

### **5.2- Zones aménageables en bassin de retenue**

### **5.2.1- Rappels sur les bassins de retenue**

Un bassin de retenue est un ouvrage enterré ou à ciel ouvert, intégré dans un réseau de collecteur pour recevoir des masses d'eau et excessives, eu égard à la capacité du réseau, et les restituer progressivement suivant les possibilités des collecteurs aval. Il régularise ainsi l'écoulement en écrêtant les pointes des débits d'averses orageuses ou de longues pluies.

Les retenues doivent être implantées à proximité immédiate des bassins versant qui occasionnent les débits. L'emplacement des retenues doit être compatible avec le site environnant compte tenu des conditions naturelles qu'il offre. Son implantation est fonction de la topographie du site, de l'urbanisation, de l'importance et de la localisation des exutoires urbains, du volume d'eau présumé à accumuler et de la capacité d'évacuation des collecteurs aval.

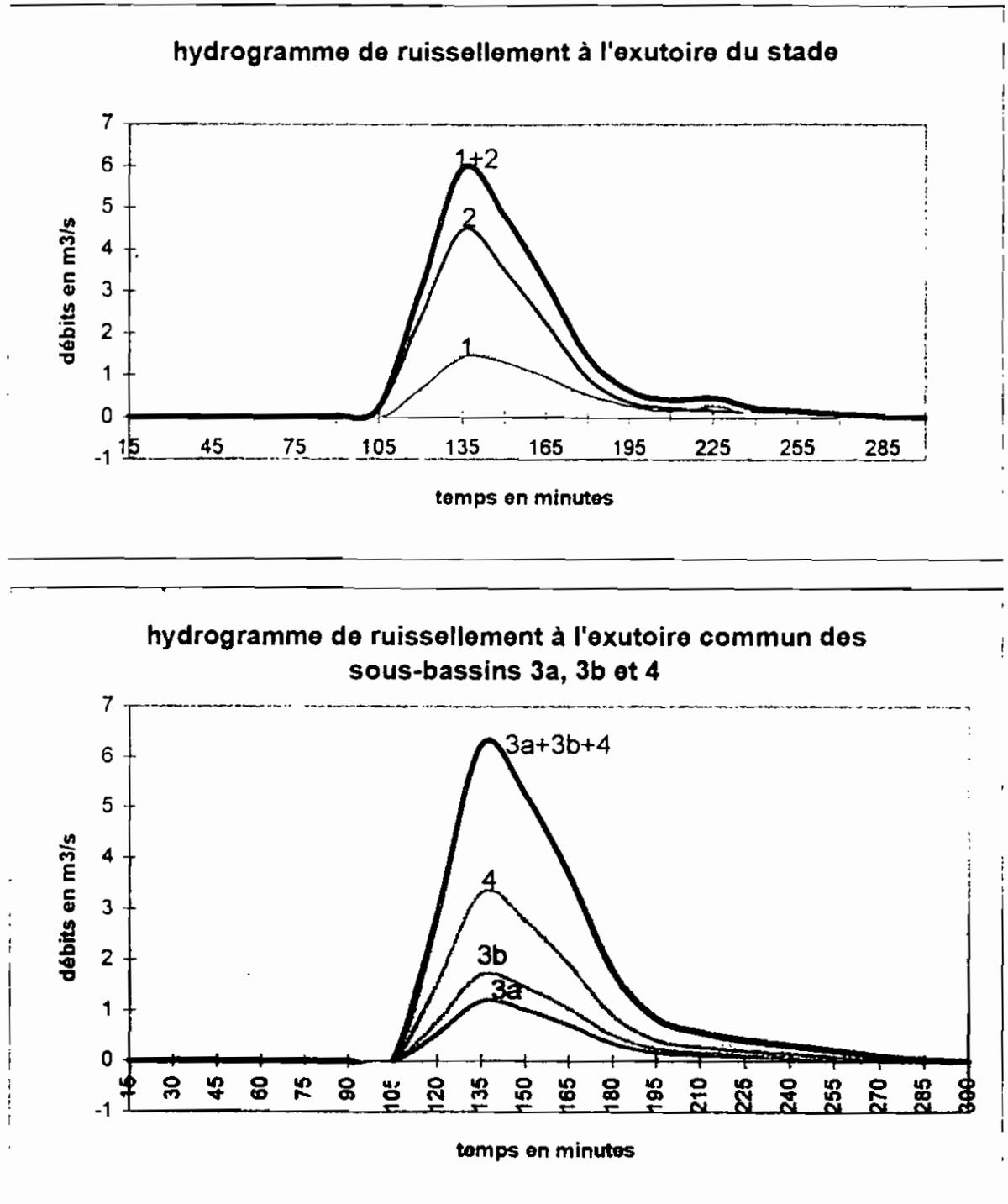
### **5-2-2- Choix de l'emplacement des bassins de retention**

Sur le site nous avons des bassins de retenue naturels constituant les exutoires des sous-bassins, il s'agit de l'exutoire du stade, du point bas de la route des Niayes (exutoires de Grand Médine, Builders, Parcelles Assainies U 26 et U22) et le point bas de l'échangeur, qu'on va aménager de façon à assurer un bon écoulement gravitaire avec des débits qui répondent aux capacités des collecteurs.

### **5-3- Laminage des hydrogrammes dans les bassins de retention**

Les hydrogrammes d'entrée dans les bassins de retenue seront écrêtés ce qui donne des hydrogrammes de sorties avec des débits beaucoup plus petits.

**Figure 4: hydrogrammes de ruissellement à l'exutoire des bassins**



### 5-3-1- Procédure de calcul de l'hydrogramme de sortie et du volume à stocker dans le bassin en fonction du temps.

Soient  $I$  le débit entrant dans le réservoir

$O$  : le débit sortant par la conduite

$\Delta t$  : l'intervalle de temps

$\Delta s$  : la variation du volume dans le réservoir

Le principe de continuité permet d'écrire :

$$I - O = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

$I$  et  $O$  sont fonction du temps,  $I$  représente l'hydrogramme d'entrée et  $O$  représente l'hydrogramme de sortie.

L'hydrogramme d'entrée étant connu, il s'agit maintenant de calculer l'hydrogramme de sortie pour avoir le stockage dans le réservoir en fonction du temps.

L'équation de stockage peut être décrite par

$$I\Delta t - O\Delta t = \Delta S$$

Entre un temps  $t$  et  $t + \Delta t$ , le débit moyen entrant et le débit moyen sortant peuvent être utilisés et sous forme de différences finies on a :

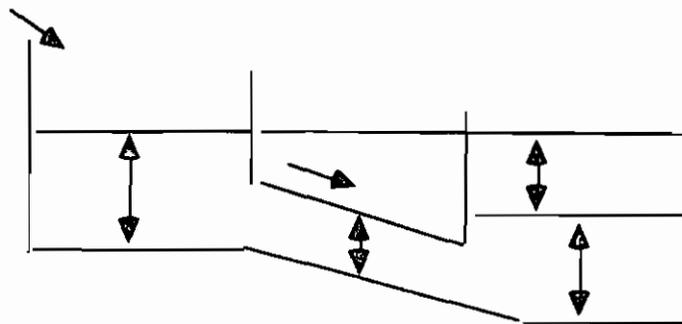
$$\left( \frac{I_1 + I_2}{2} \right) \Delta t - \left( \frac{O_1 + O_2}{2} \right) \Delta t = S_2 - S_1$$

$I_1, I_2$  débits d'entrée au début et à la fin de  $\Delta t$  respectivement  
 $O_1, O_2$  débits à la sortie au début et à la fin de  $\Delta t$  respectivement  
 $S_1, S_2$  volumes d'eau emmagasiné au début et à la fin de  $\Delta t$  respectivement.

Si nous regroupons différemment les quantités

$$\frac{1}{2}(I_1 + I_2) \Delta t + \left( S_1 - \frac{1}{2} O_1 \Delta t \right) = S_2 + \frac{1}{2} O_2 \Delta t$$

Nous remarquons que les inconnues se trouvent du côté gauche de l'équation. Pour trouver  $O$ , il faut une relation entre l'emmagasinement dans le réservoir et le débit de sortie



- Si la hauteur  $H_1$  est inférieure à  $D$  Diamètre de la conduite nous sommes en écoulement libre et le débit sortant est donné par la relation :

$$\frac{O_h}{O_p} = \left( \frac{n_p}{n_h} \right) \left( \frac{A_h}{A_p} \right) \left( \frac{R_h}{R_p} \right)^{2/3}$$

- Où  $O_h$  : débit sortant  
 $O_p$  : débit de la conduite coulant pleine mais à surface libre  
 $A_p$  : section de la conduite  
 $R_p$  : rayon hydraulique  
 $n_h = n_p$  : Coefficient de Manning de la conduite

On a :

$$O_p = \frac{1}{n_p} R_p^{2/3} S^{1/2} \quad S = \text{pente de la conduite}$$

Connaissant  $H$ , les rapports  $\frac{A_h}{A_p}$ ,  $\frac{R_h}{R_p}$ ,  $\frac{V_h}{V_p}$ ,  $\frac{O_h}{O_p}$  sont donnés au tableau 1  
 en fonction de  $\frac{H_1}{D}$

- Si  $H > D$

$$O = A_p \sqrt{\frac{2g \Delta h f}{L}}$$

$L$  : longueur de la conduite

$h_l$  : perte de charge à travers le conduite

$$(hf = \Delta h)$$

$A_p$  : section de la conduite

$f$  : coefficient de perte de charge

$f$  peut être calculé par la formule de Colebrook

$$\text{on a : } f = \frac{0,25}{\left(\log\left(\frac{\varepsilon}{D \times 3,7} + \frac{2,51}{R \sqrt{f}}\right)\right)^2}$$

$$R = \frac{VD}{\nu} : \text{le nombre de Reynolds}$$

avec  $\varepsilon$  = Coefficient de rugosité de la conduite

Pour les conduites en béton armé  $\varepsilon = 0,3 \text{ mm}$

Procédure de calcul de S

Connaissant  $O_1$  et  $S_1$ , on a donc la valeur de  $S_2 + \frac{1}{2} O_2 \Delta t$ , on détermine la hauteur du plan d'eau à partir des courbes hauteurs volumes des bassins de retenue ce qui permettra de calculer  $O_2$  et ainsi  $S_2$  et la procédure continue jusqu'à obtention de l'hydrogramme de sortie de la courbe volume stockée en fonction du temps.

### 5.3.2 Hydrogramme de sortie et volume à stocker au bassin de rétention de l'exutoire du stade

L'hydrogramme d'entrée est donné par la somme de celui des sous-bassins I et II (voir figure ) avec un débit max. =  $6 \text{ m}^3/\text{s}$  pour une période de retour de 10 ans.

La pente de la conduite est prise égale à celle du terrain naturel  $S = 0,7 \%$  pour des raisons économiques.

Supposons un collecteur aval de diamètre  $1,065 \text{ m}$  ; on doit avoir une vitesse  $0,6 \leq V \leq 4 \text{ m/s}$  (vitesses limites à respecter)

$$V = \frac{1}{0,012} (1,065 / 4)^{2/3} \times 0,007^{1/2} = 2,9 \text{ m/s}$$

Si on fixe le cote du fond du réservoir à  $13,5 \text{ m}$ , la cote aval de la conduite sera de  $11,5 \text{ m}$ , on aura une dénivelé de  $1,5 \text{ m}$  pour une pente de  $0,7 \%$  donc une vitesse de  $3 \text{ m/s} < 4 \text{ m/s}$ . Et  $Q_p = 2,67 \text{ m}^3/\text{s}$ .

$$f = 0,015$$

On suppose que la cote à l'aval de la conduite quand  $H > D$  est égal à 12 m au maximum.

On a le tableau 5-1 qui donne l'hydrogramme de sortie et le volume stocké  $S$  en fonction du temps.

Nous constatons donc que le volume maximal a stocké est  $7575 \text{ m}^3$  et le débit maximal à travers la conduite est de  $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$  avec une vitesse de  $V = 2,8 \text{ m/s} < 4 \text{ m/s}$  donc le diamètre choisi est acceptable.

### 5.3.3 Hydrogramme de sortie et volume à stocker au bassin de retention de la route des Niayes.

L'hydrogramme d'entrée est la somme des hydrogrammes des sous-bassins IIIA, IIIB et IV avec un débit max. de  $6,24 \text{ m}^3/\text{s}$ . Pour évacuer les eaux par gravité au niveau du point bas de l'échangeur, il faut des travaux d'excavation jusqu'à avoir une cote adéquat pour l'écoulement. Si nous supposons que le fond du bassin de la route des Niayes est à un cote 9 pour une dénivelée de 1 m, il faut qu'on ait le bassin de l'échangeur à une cote de 8 pour avoir une pente de  $0,33 \%$ , fixons le diamètre de la conduite à  $1,22 \text{ m}$ .

$$\text{On aura } V = \frac{1}{0,012} \times (1,22 / 4)^{2/3} \times 0,0033^{1/2} = 2,23 \text{ m/s}$$

$$Q_p = 2,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$f = 0,0145$$

Le tableau 2.3 donne le calcul de l'hydrogramme de sortie et du volume stocké dans le réservoir en fonction du temps.

Le débit maximal est de  $4,43 \text{ m}^3/\text{s}$  soit une vitesse de max  $3,7 < 4 \text{ m/s}$

Le diamètre choisi peut être conservé malgré la vitesse de  $3,7$  très proche de  $4 \text{ m/s}$ .

Le stockage maximal est égal à  $4803,12 \text{ m}^3$ .

### 5.3.3- hydrogramme d'entrée, de sortie et le stockage en fonction du temps au bassin de l'échangeur.

L'hydrogramme d'entrée est la somme des 2 hydrogrammes de sorties des bassins amont. Le débit maximal d'entrée est alors égal à  $6,9 \text{ m}^3/\text{s}$

Prenons toujours une conduite de  $1,22 \text{ m}$  de diamètre.

La conduite déverse vers les Niayes et avec une pente de  $0,0025$  car on considère que le déversement se fait à la cote de  $5,5 \text{ m}$ .  $Q_p = 3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ;

$V_p = 3 \text{ m/s} < 4 \text{ m/s}$ .

L'hydrogramme d'entrée, de sortie et le volume à stocker sont donnés au tableau 2.3. Volume maximal à stocker =  $12031 \text{ m}^3$

débit maximal de sortie =  $3,74 \text{ m/s}$

et Vitesse maximale est égale à  $3,2 \text{ m/s}$

**TABLEAU 5.1: BASSIN DE RETENUE DU STADE**  
**CALCUL DE L'HYDROGRAMME DE SORTIE ET VOLUME STOCKE EN FONCTION DU TEMPS**

Temps(min)	I(t) (m3/s)	I(t)moy (m3/s)	I(t)dt (m3)	H (m)	S+O/2dt (m3)	O (m3/s)	Odt (m3/s)	S (m3)
15	0							
30	0							
45	0							
60	0							
75	0	0	0	14	0	0	0	0
90	0,019	0,0095	8,55	14,01	8,55	0	0	0
105	0,227	0,123	110,7	14,096	119,25	0,045	40,85	99
120	3,065	1,646	1481,4	15,17	1559,8	1,56	1404	858
135	5,967	4,516	4064,4	15,51	4579,8	2,28	2052	3554
150	4,816	5,3915	4852,35	15,86	7380,15	2,43	2189,2	6285
165	3,204	4,01	3609	16,01	8700	2,5	2250	7575
180	1,437	2,32	2038	15,99	8488	2,49	2241	7368
195	0,635	1,036	932,4	15,84	7179,4	2,42	2178	6090
210	0,424	0,529	476,1	15,61	5477,5	2,32	2088	4433,5
225	0,475	0,45	405	15,4	3794,5	2,23	2007	2791
240	0,231	0,353	317,7	15,23	2105,2	2,15	1935	1138
265	0,158	0,1945	175,05	14,26	345,25	0,35	315	188
280	0,079	0,12	108	14,12	138,25	0,072	64,8	171
295	0,03	0,0545	49,05	14,1	122,5	0,046	41,4	102
300	0,003	0,1515	13,64	14,08	115,44	0,044	39,6	96

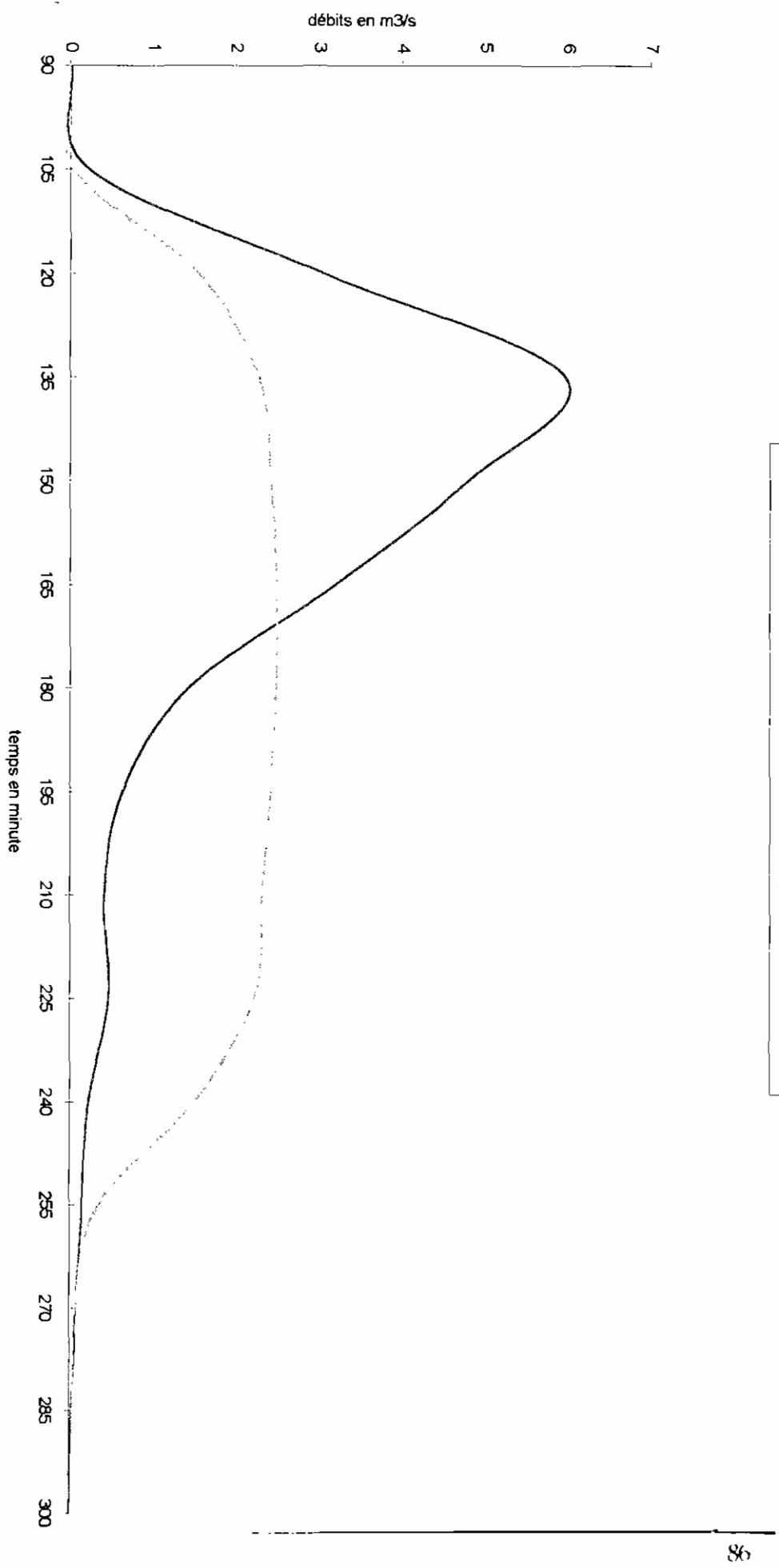
**TABEAU 5.2: BASSIN DE RETENUE DE LA ROUTE DES NIAYES**  
**CALCUL DE L'HYDROGRAMME DE SORTIE ET VOLUME STOCKE EN FONCTION DU TEMPS**

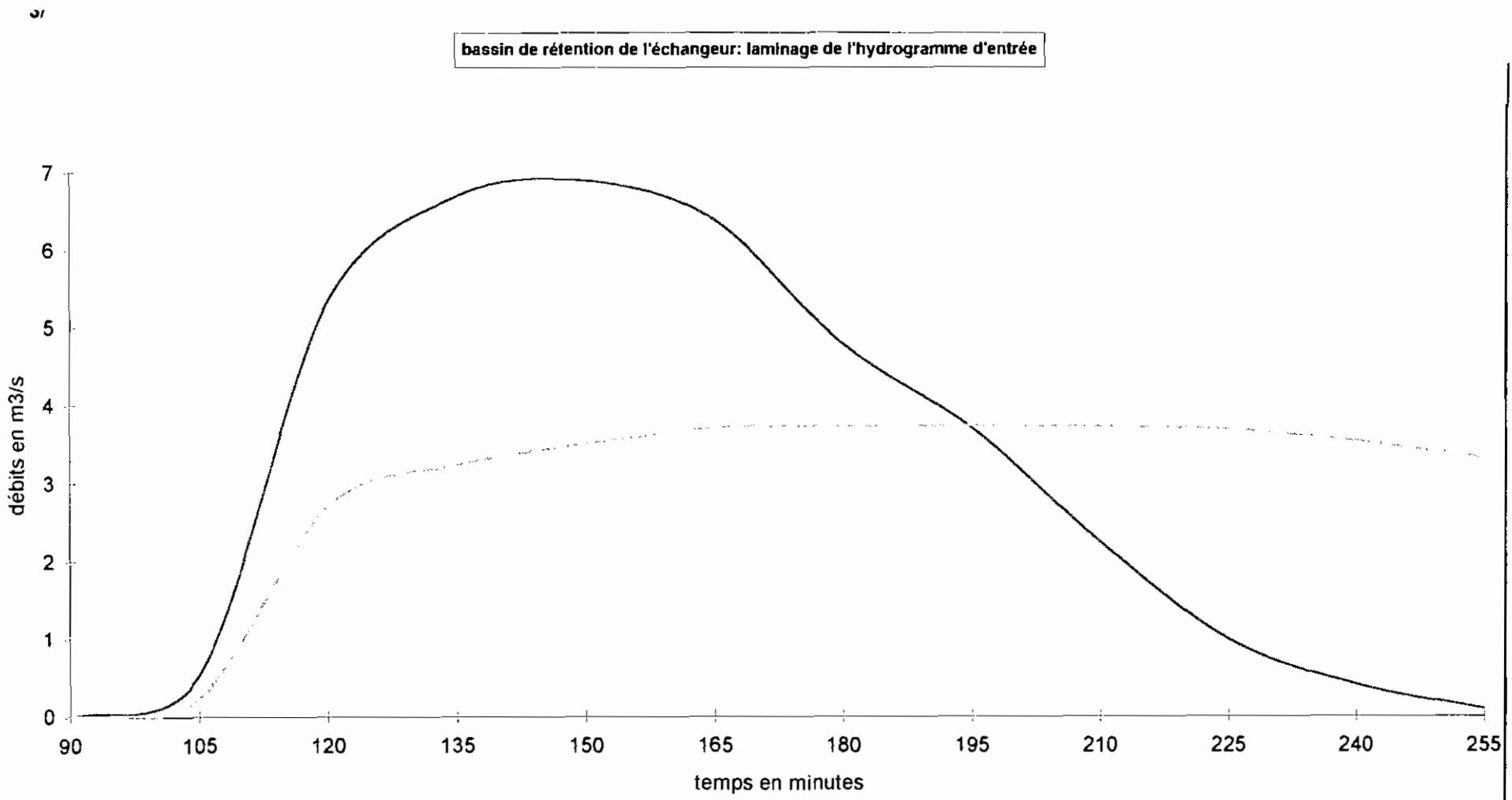
Temps(min)	I(t) (m3/s)	I(t)moy (m3/s)	I(t)dt(m3)	H (m)	S+O/2dt (m3)	O(m3/s)	Odt(m3)	S (m3)
15	0							
30	0							
45	0							
60	0							
75	0							
90	0	0	0	9	0	0	0	
105	0,001	0,0005	0,45	9,002	0,45	0	0	0,45
120	2,875	1,438	1294,2	10,87	1294,65	0,494	444,6	1072,35
135	6,24	4,56	4104	13,1	4954,05	3,77	3393,16	3257,47
150	5,271	5,756	5180,4	13,8	6741,29	4,46	3975	4754
165	3,685	4,48	4032	13,82	6798,3	4,434	3990,36	4811
180	1,785	2,735	2461,5	13,23	5269,44	3,9	3508,52	3515,2
195	0,851	1,318	1186,2	12,07	2947,12	2,35	2281,58	1806,6
210	0,571	0,711	640	11,086	1305,54	1,4	1260	675,54
225	0,412	0,49	441	10,59	486,54	0,029	26,1	473,5
240	0,312	0,36	324	10,6	784,44	0,044	39,42	764,73
255	0,213	0,26	234	10,9	979,02	0,0676	608,652	674,7
270	0,106	0,16	144	10,56	514,37	0,0306	54,549	487,09

**TABLEAU 5-3: BASSIN DE RETENUE DU POINT BAS DE L'ECHANGEUR**  
**CALCUL DE L'HYDROGRAMME DE SORTIE ET DU VOLUME STOCKE EN FONCTION DU TEMPS**

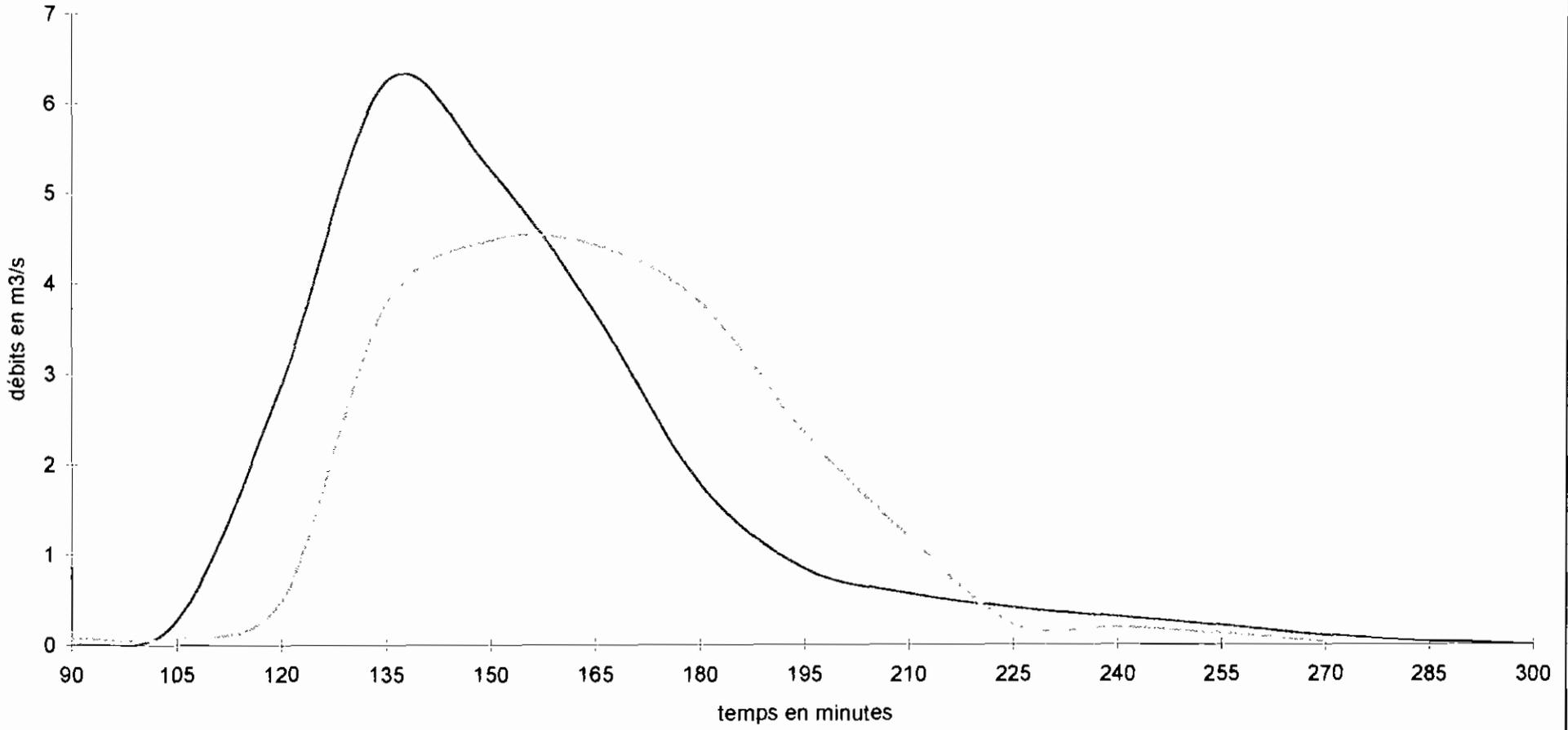
Temps(min)	I(t) (m3/s)	I(t)moy (m3/s)	I(t)dt (m3)	H (m)	S+O/2dt (m3)	O (m3/s)	Odt (m3)	S (m3)
15	0							
30	0							
45	0							
60	0							
75	0							
90	0	0	0	8	0	0	0	0
105	0,539	0,27	243	8,2	63	0,2	180	63
120	5,33	2,9	2610	11,57	2673	2,82	2538	1404
135	6,7	6	5400	12,67	5535	3,25	2925	4072,5
150	6,9	6,8	6120	13,43	8730	3,51	3159	7150,5
165	6,4	6,65	5985	14,1	11556	3,72	3348	9882
180	4,8	5,6	5040	14,16	13248	3,74	3366	11565
195	3,72	4,26	3834	14,18	13716	3,744	3369,6	12031
210	2,26	3	2700	14,147	13046	3,73	3357	11367,5
225	2,2	2,23	2207	14,13	11696	3,7	3330	10031
240	0,42	1,31	1179	13,62	9545	3,57	3213	7938,5
265	0,102	0,26	234	12,9	6566	3,33	2997	5067,5

bassin de rétention du stade: laminage de l'hydrogramme d'entrée





bassin de rétention de la route des Niayes: laminage de l'hydrogramme d'entrée:



## 5.4- Dimensions des collecteurs et des bassins de rétention

Les dimensions des bassins dépendront des volumes maximaux à stocker et leur forme des conditions topographiques imposées par le site. Pour les conduites on va considérer les diamètres préalablement choisis

### 5.4.1- Bassin de rétention du stade

On procédera à une exaction jusqu'à la cote de 13,5 pour le fond.

Sur les environs du bassin un réaménagement sera fait pour les berges jusqu'à avoir un bassin qui pourra stocker un volume de 7575 m<sup>3</sup> sans que la surface du plan d'eau cause des problèmes aux environs.

Le schéma du bassin est donné sur le plan d'aménagement:

surface du fond: 40m x 40m = 1600 m<sup>2</sup>

cote fond = 13,5 m

cote dessus = 15 m

### 5.4.2- Bassin de rétention de la route des Niayes

On procédera à une excavation jusqu'à une cote de 9 m pour le fond. Pour avoir un stockage de 4804 m<sup>3</sup>.

Les dimensions et la forme du bassin sont :

collecteur aval diamètre 1,22m, longueur 305 m

surface du fond: 60m x 30m = 1800 m<sup>2</sup>

cote dessus = 11 m

cote fond = 9 m

### 5.4.3- Bassin du point bas de l'échangeur

La cote du fond sera 8 m, le volume maximal à stocker = 12631 m<sup>3</sup>/s avec une vitesse maximale de 3,2 m/s dans le collecteur aval.

collecteur aval     D= 1,22m, longueur=1035 m

bassin                cote fond     8 m

                          cote dessus 11 m

                          surface fond 7000m<sup>2</sup>

### 5.5- Consistance des travaux d'exécution du projet

Pour l'établissement de devis estimatif et quantitatif les travaux sont à tenir en compte.

- Terrassement du terrain, excavation pour la construction des bassins de retenue.
- Construction des bassins en béton et aménagement des environs pour avoir un meilleur écoulement et éviter les inondations temporaires lors des grandes crues ;
- Excavation des tranchées destinées à recevoir les collecteurs ;
- Mise en oeuvre des radiers ;
- Fourniture et pose des canalisations en béton.
- Construction des ouvrages annexes : regards de visite, chambres de déssablement situées au niveau des têtes de collecteurs dans les bassins de retenue, butées aux endroits des déviations des collecteurs, avaloirs ;
- Pose de grilles pour flottants au niveau des têtes de collecteur ;
- Reconstruction des routes coupées et obstacles détruits lors de la pose des canalisations.
- Prendre toutes les dispositions de sécurité nécessaires lors de la mise oeuvre et après la mise en oeuvre.

## CONCLUSION

Les études qui viennent d'être menées montrent la difficulté de l'évacuation des eaux de ruissellement par système gravitaire liée à la topographie du terrain. Cette solution dont la mise en oeuvre peut être fastidieuse, ne saurait constituer la seule possible. On peut atteindre l'objectif principal qui est l'évacuation des eaux en procédant par pompage à l'exutoire commun de Grand Médine, Builders, Parcelles Assainies, ce qui permettra de gagner en altitude, donc une réduction des profondeurs d'excavation et nécessairement une augmentation du coût du projet.

Pour la mise en oeuvre du projet nous recommandons :

- une spécification de l'épaisseur du collecteur principal, lors de la commande en tenant compte de la hauteur du sol qui sera au dessus ;
- de choisir une entreprise compétente pour la réalisation car le travail à faire mérite une grande précision et un bon contrôle ;
- une exécution du projet dans les plus brefs délais pour ne pas enregistrer des inondations cette année.

## BIBLIOGRAPHIE

AMANI ABOU	<b>Pluie de projet et modèles de transfert "Pluie-débit" pour les petits bassins versants</b> , Projet de fin d'Etudes, Ecole Polytechnique de Thiès,1990
C. MITCI	<b>Sur une nouvelle méthode de calcul des débits d'orage et des hydrogrammes de ruissellement dans les bassins de drainage urbain</b> (T.S.M - L'eau). Février 1974
COMITE INTER-ETAT D'ETUDES HYDRAULIQUES	<b>Etude Générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale</b> (République du Sénégal)
ENERST P. LAUZON ET ROGER DUQUETTE	<b>Topométrie Générale</b> , Edition de l'Ecole Polytechnique de Montréal
G. REMENIERAS	<b>L'hydrologie de l'ingénieur</b> , Eyrolles 2 <sup>e</sup> édition 1980
IR. P. NONCLERCQ	<b>Hydraulique Urbaine appliquée</b> (2ème partie) Le dimensionnement hydraulique des collecteurs d'eaux pluviales) 1991
JACQUES MIQUEL	<b>Guide pratique d'estimation des probabilités de crues</b>
JOSÉ LLAMAS	<b>Hydrologie Générale : Principes et Applications</b> , Gaëtan Mai, 1985
MARTIN P. WANIELISTA	<b>Hydrology and water quantity control</b> , University of Central Florida Copyright 1990 by Wiley.
NESTOR BEMMO, BERNARD CHOCAT	<b>Réflexion sur les différentes courbes "intensité-durée-fréquence" utilisées pour le site de Yaoundé</b> , CAMEROUN
PIERRE F. LEMIEUX, ing, Ph.D,	<b>Considérations sur l'utilisation d'un modèle de ruissellement urbain pour la gestion des eaux pluviales</b> , sciences et techniques de l'eau.

PIERRE F. LEMIEUX, ing, Ph.D,	<b>Hydraulique Urbaine</b> , (Note de cours Université de Sherbrooke) Août 1989.
RÉGIS BOURRIER,	<b>Les réseaux d'assainissement, calculs, applications, perspectives</b> , Technique et Documentation Lavoisier, 1985. 482 pages
RICHARD H. MC CUEN	<b>A Guide to hydrologic analysis using S.C.S methods</b> , 1982 Practice - Hall, Inc, Englewood Cliffs, N. J. 07632
ROGER LABONTE, Ing, Professeur GRILLES PATRY, Ing en collaboration avec les Professeurs FRANÇOIS G. BRJERE, Ing et RAYMOND DESJARDINS, Ing.	<b>Distribution et collecte des eaux en milieu urbain</b> , 3è édition, Ecole Polytechnique de Montréal, 1987
VICTOR L. STREETER, E. BENJAMIN WYLIE,	<b>Fluid Mechanics</b> , eighth edition, McGraw-Hill Book Company, 1985

# ANNEXES

**ANNEXE 1**

**Courbes intensité-durée-fréquence  
(en échelle semi-logarithmique)**

ANNEXE I: Courbe intensité-durée-fréquence.  
(en échelle semi-logarithmique).

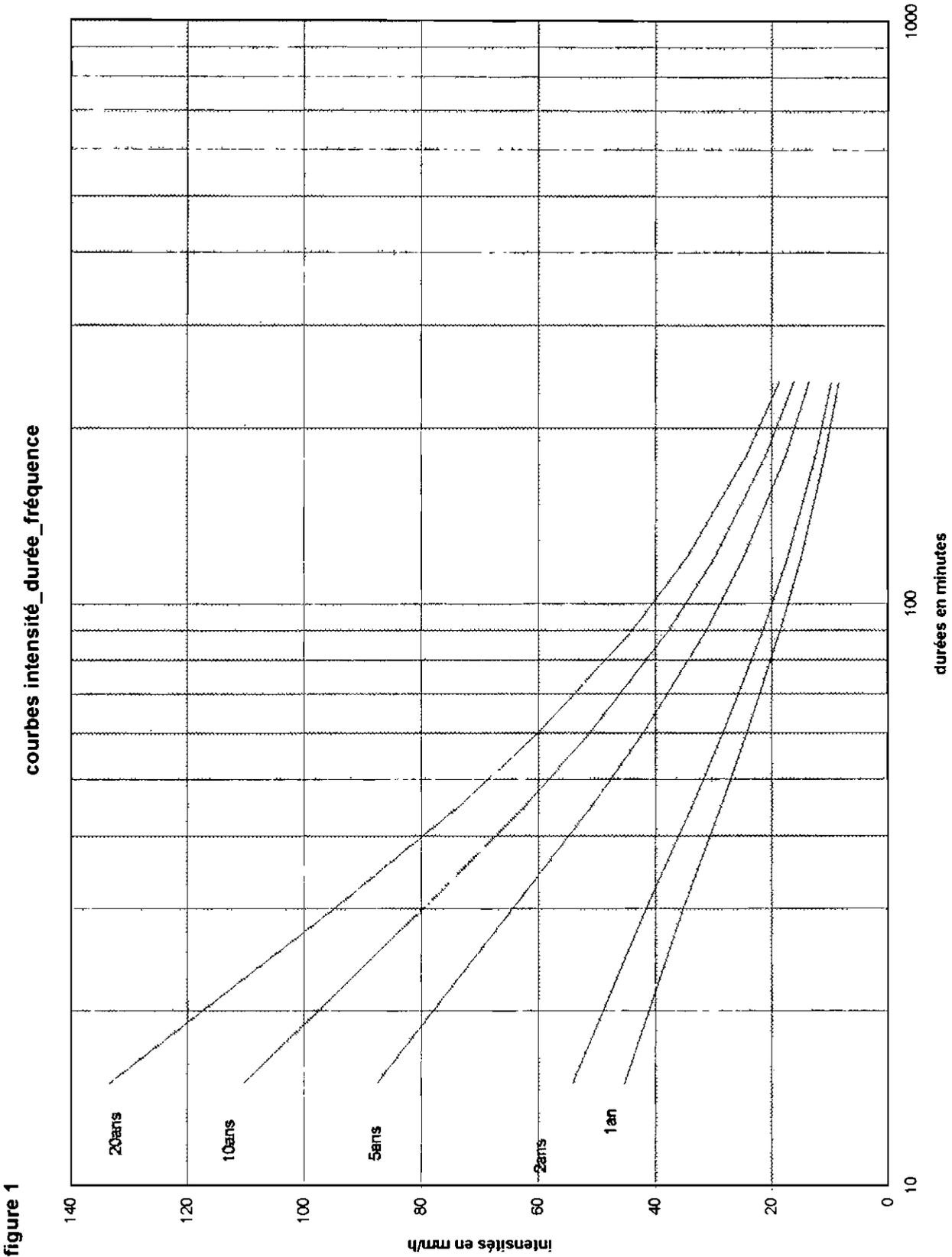
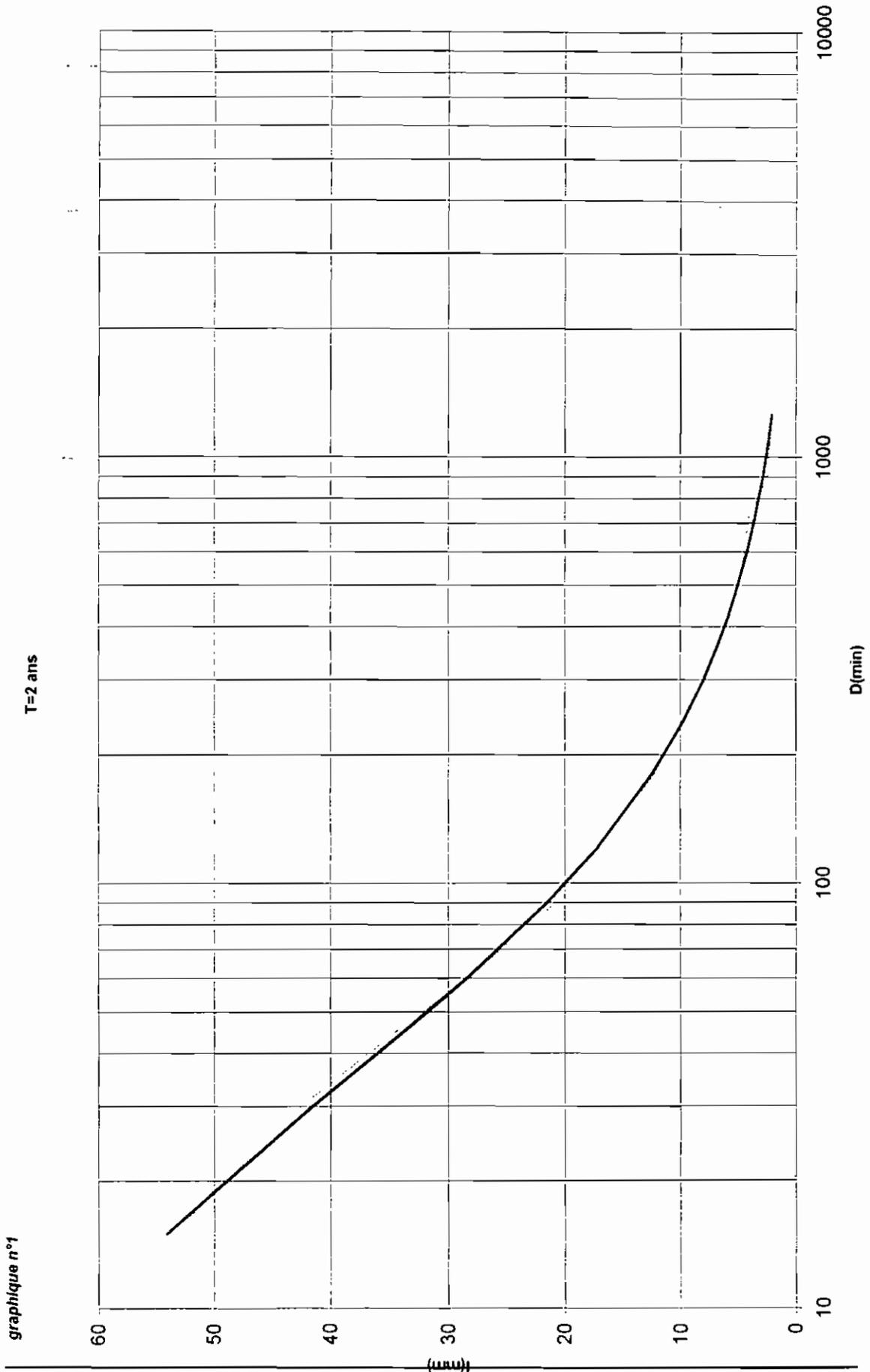
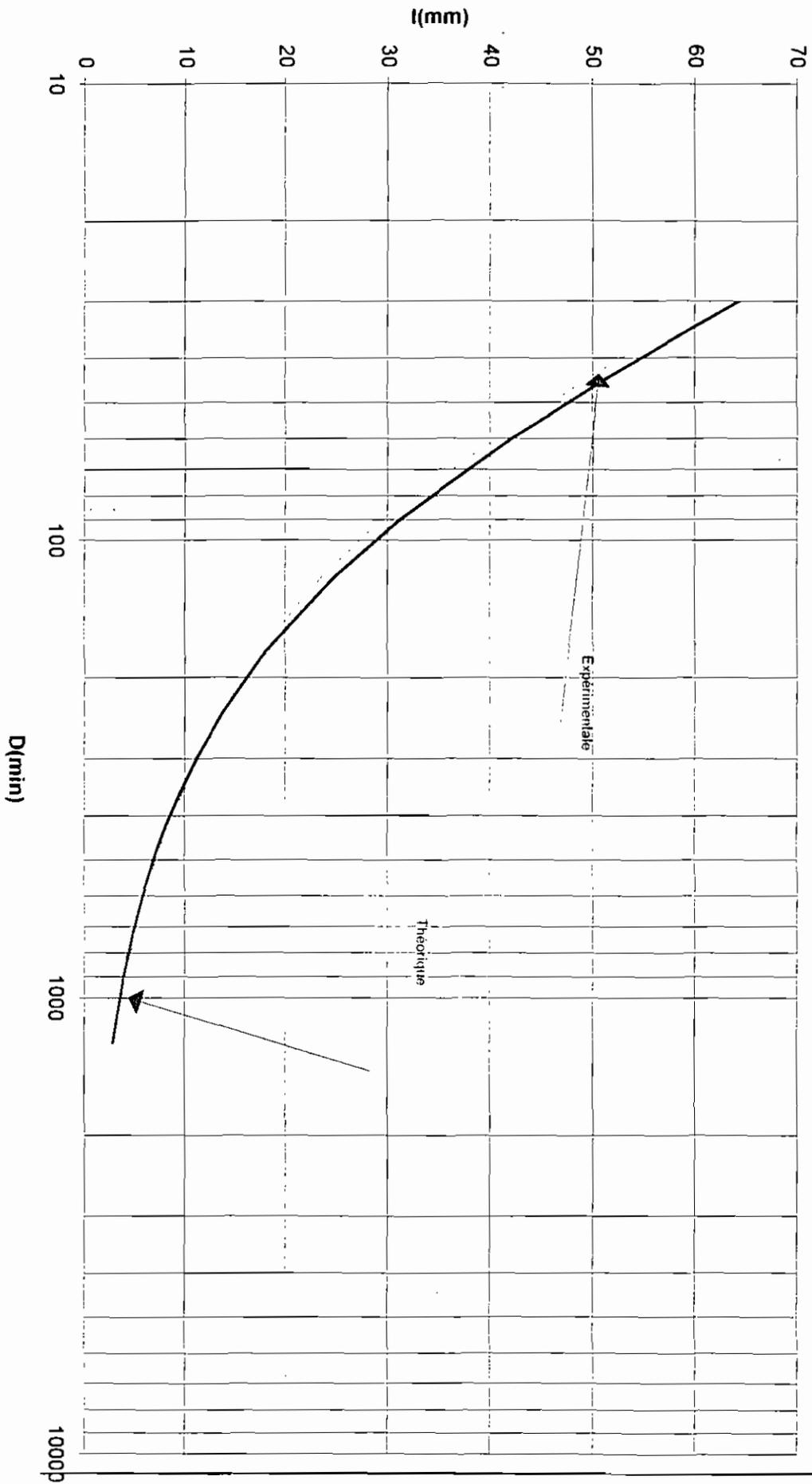


figure 1



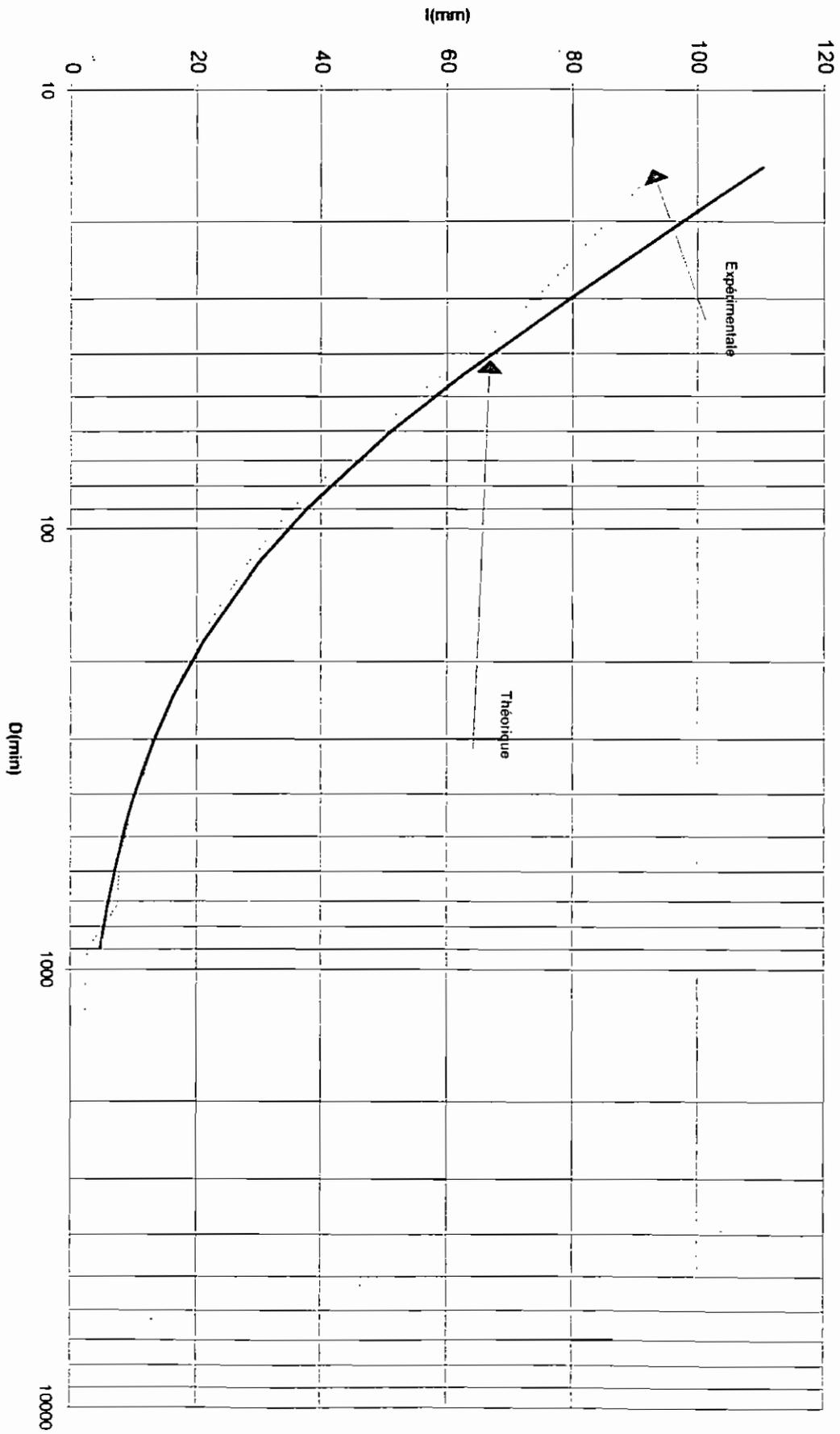
graphique n°2



T=5 ans

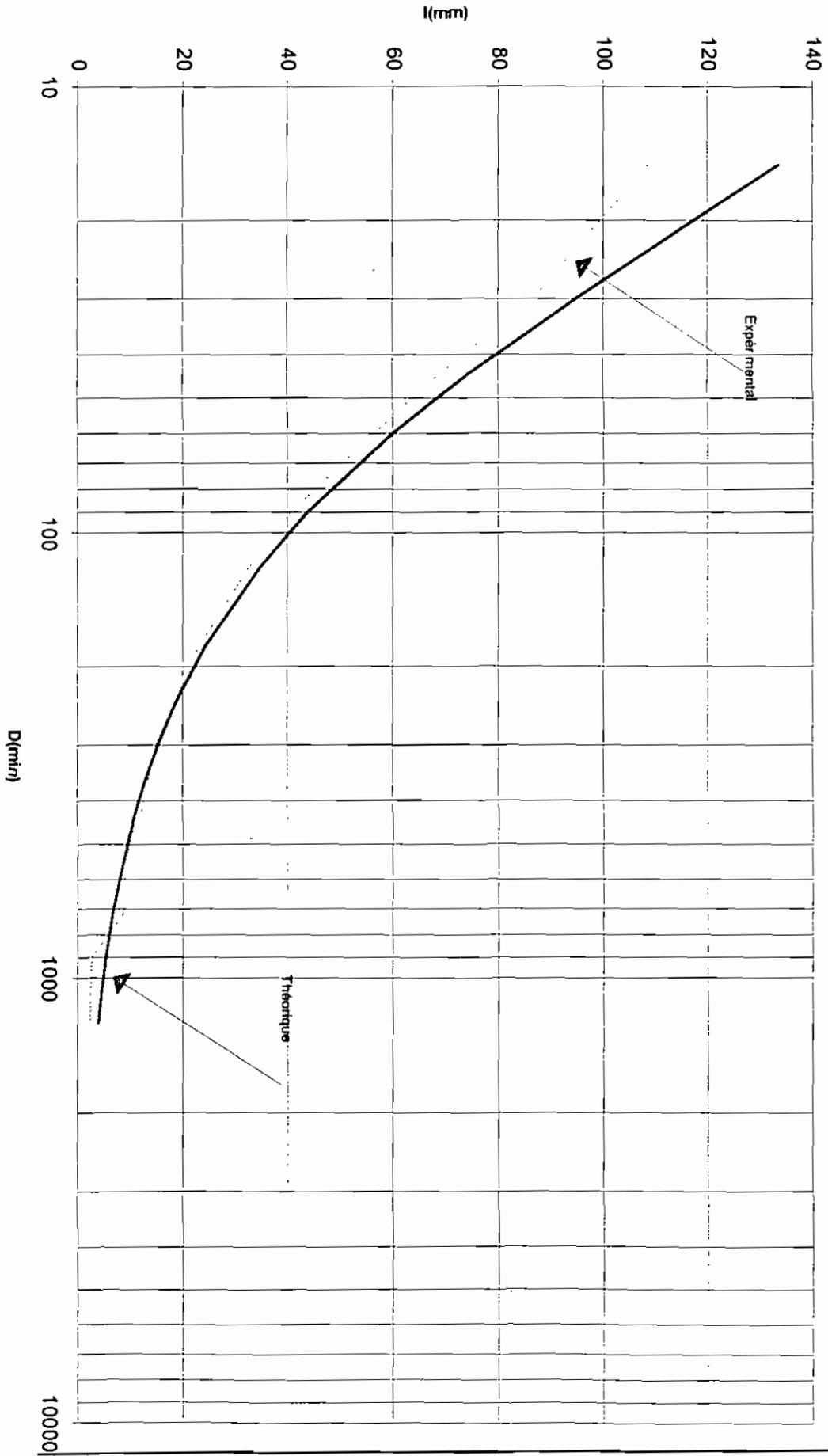
graphique n°3

T=10 ans



graphique n°4

T=20 ans



**ANNEXE 2**

**Carte topographique de la zone d'étude**

**ANNEXE 3**

***Courbes granulométriques des différents types de sols***

Courbes granulométrique et différents types de sols.



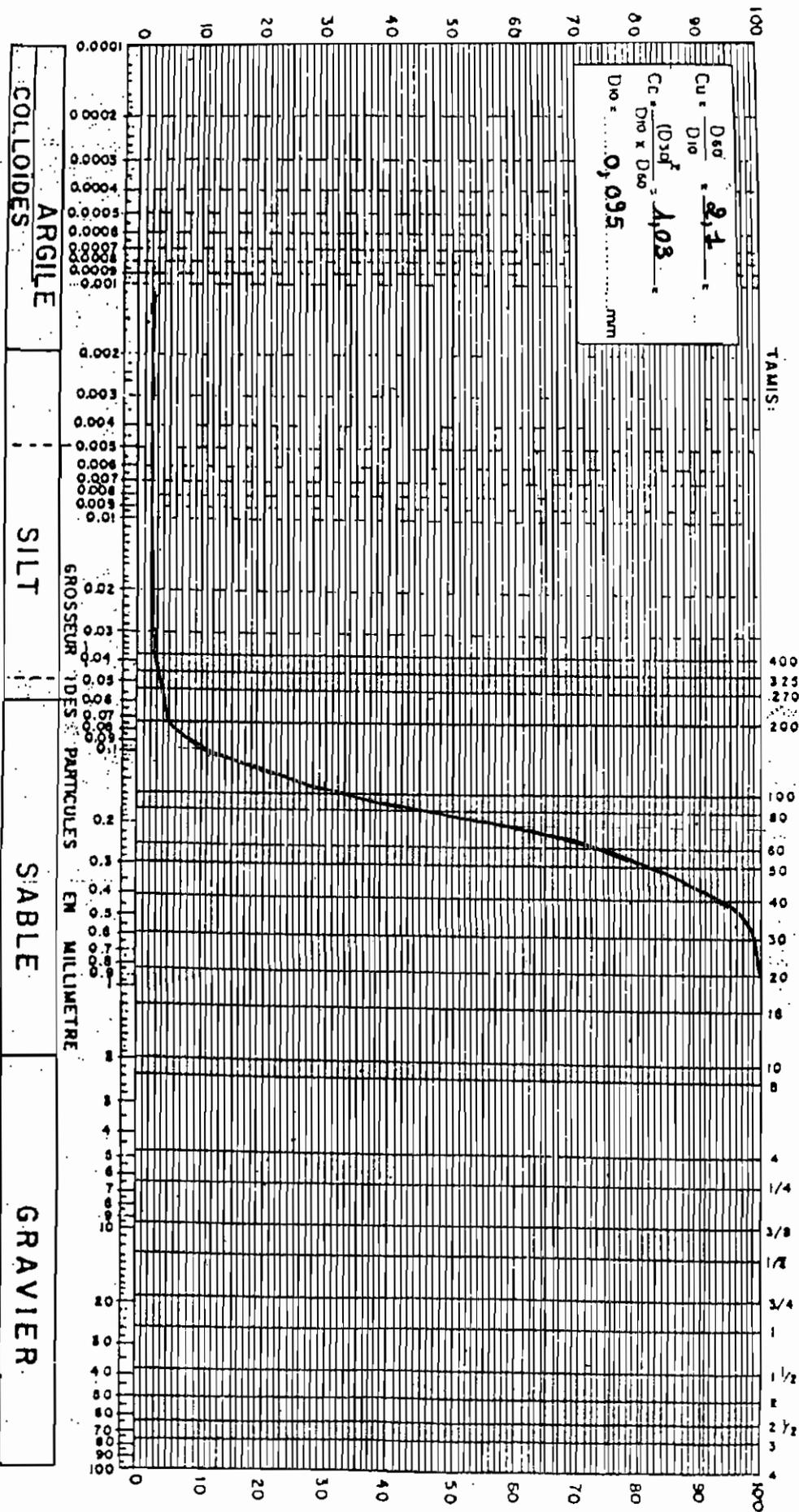
École polytechnique de Thiès

Boite Postale 10, Thiès, République du Sénégal

DATE \_\_\_\_\_

COURBE GRANULOMETRIQUE

ECHANTILLON NO. 2



Description : Sable fin avec des traces d'argile et de silt pourvus usplipable (sable purpur)

Remarques :

Sable de Grand Médine - Buidiers - Pucelles Assurances U 22





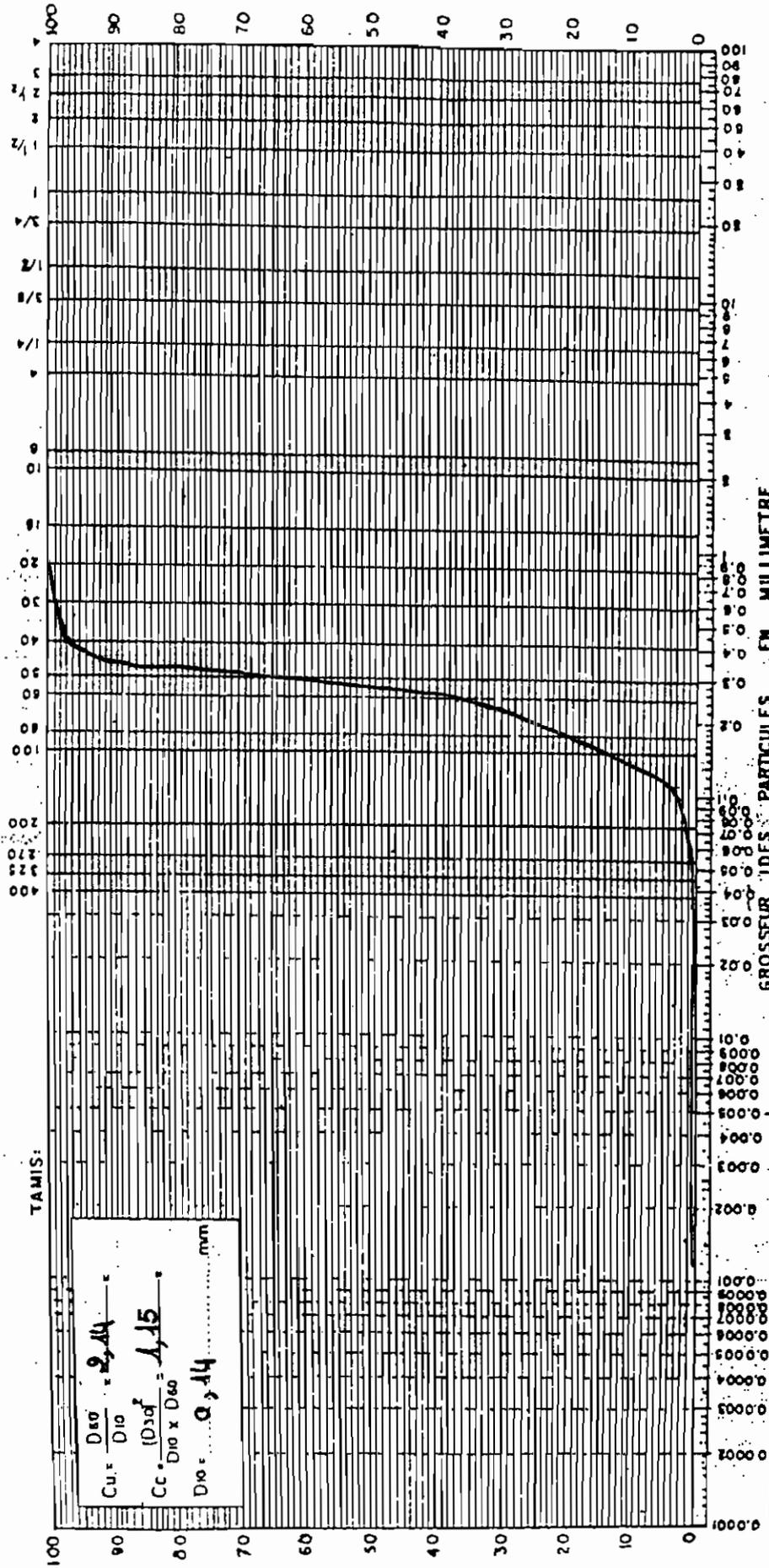
# École polytechnique de thies

Boite Postale 10, Thies, République du Sénégal

DATE \_\_\_\_\_

ECHANTILLON NO. 3

## COURBE GRANULOMETRIQUE



$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 2,14$   
 $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = 1,15$   
 $D_{10} = 0,14$  mm

COLLOIDES      ARGILE      SILT      SABLE      GRAVIER  
 AFNOR

Sable des Panelles Associnies Unités 26

Description: Sable fin, uniforme et propre.

Remarques: \_\_\_\_\_

**ANNEXE 4**

**Présentation des résultats du classement**

ANNEXE 4: présentation des résultats du classement des intensités pour différents intervalles de temps								
CLASSEMENT DES INTENSITES MAXIMA					CLASSEMENT DES INTENSITES MAXIMA			
INTERVALLE DE REFERENCE 0H15					INTERVALLE DE REFERENCE 0H30			
N° DE	I	DATE	f=m/(n+1)		N° DE	I	DATE	
CLASSE	(mm/h)				CLASSE	(mm/h)		
1	160	31/08/1969	0,02		1	130	13/10/1962	0,02
2	134	13/10/1962	0,05		2	100	17/08/1976	0,05
3	102	17/08/1976	0,07		3	90	31/08/1969	0,07
4	100	09/10/1966	0,10		4	87	29/08/1987	0,10
5	100	29/08/1987	0,12		5	82	03/08/1962	0,12
6	94	13/09/1969	0,15		6	77	28/07/1969	0,15
7	94	03/09/1980	0,17		7	75	13/09/1969	0,17
8	92	03/08/1962	0,20		8	72	19/08/1985	0,20
9	92	18/07/1969	0,22		9	68	01/10/1958	0,22
10	88	01/10/1958	0,24		10	68	09/10/1966	0,24
11	88	28/07/1969	0,27		11	65	09/10/1962	0,27
12	86	22/08/1995	0,29		12	63	25/09/1976	0,29
13	82	02/08/1988	0,32		13	62	18/07/1969	0,32
14	80	09/10/1962	0,34		14	62	03/09/1980	0,34
15	80	19/08/1985	0,37		15	59	22/08/1967	0,37
16	80	21/09/1987	0,39		16	58	24/09/1976	0,39
17	78	30/08/1981	0,41		17	57	13/08/1965	0,41
18	78	21/09/1994	0,44		18	56	30/08/1981	0,44
19	68	22/08/1967	0,46		19	55	17/08/1984	0,46
20	68	06/08/1956	0,49		20	55	24/08/1987	0,49
21	68	25/09/1976	0,51		21	53	02/08/1988	0,51
22	68	24/09/1976	0,54		22	52	06/08/1987	0,54
23	66	13/08/1965	0,56		23	50	12/07/1956	0,56
24	66	17/08/1984	0,59		24	50	21/09/1987	0,59
25	62	06/08/1987	0,61		25	50	21/09/1994	0,61
26	60	24/08/1987	0,63		26	49	22/08/1995	0,63
27	60	23/08/1995	0,66		27	48	01/08/1981	0,66
28	58	01/08/1981	0,68		28	48	28/07/1975	0,68
29	56	12/07/1956	0,71		29	48	03/08/1958	0,71
30	54	21/09/1969	0,73		30	46	19/07/1979	0,73
31	52	25/09/1962	0,76		31	46	21/09/1969	0,76
32	52	02/09/1967	0,78		32	45	19/09/1966	0,78
33	52	12/08/1960	0,80		33	44	23/08/1995	0,80
34	52	28/07/1975	0,83		34	43	22/09/1969	0,83
35	52	19/07/1979	0,85		35	42	12/08/1960	0,85
36	50	19/09/1966	0,88		36	42	20/09/1984	0,88
37	50	22/09/1969	0,90		37	41	06/08/1958	0,90
38	48	03/08/1958	0,93		38	40	27/09/1961	0,93
39	46	13/09/1972	0,95		39	40	27/09/1961	0,95
40	46	25/09/1984	0,98		40	40	25/08/1995	0,98
41	46	16/08/1988	1,00		41	39	02/09/1967	1,00
42	44	09/10/1957	1,02		42	38	09/10/1957	1,02
43	44	20/08/1969	1,05		43	37	09/09/1967	1,05
44	44	09/09/1984	1,07		44	35	20/08/1969	1,07
45	44	20/09/1984	1,10		45	35	10/08/1975	1,10
46	44	26/08/1989	1,12		46	35	25/09/1984	1,12
47	42	09/09/1967	1,15		47	33	21/08/1958	1,15
48	40	25/08/1995	1,17		48	32	09/09/1984	1,17
49	40	09/09/1957	1,20		49	31	20/08/1958	1,20
50	40	27/09/1961	1,22		50	29	09/08/1963	1,22
51	40	27/09/1961	1,24		51	29	02/08/1989	1,24
52	38	10/08/1975	1,27		52	28	25/09/1962	1,27
53	38	03/08/1986	1,29		53	28	20/09/1994	1,29
54	36	20/08/1958	1,32		54	27	18/09/1976	1,32
55	36	09/08/1963	1,34		55	27	21/08/1988	1,34
56	36	18/09/1976	1,37		56	26	09/09/1957	1,37
57	36	20/09/1994	1,39		57	26	13/09/1972	1,39
58	34	21/08/1958	1,41		58	26	16/08/1988	1,41
59	32	02/08/1989	1,44		59	26	24/08/1989	1,44
60	32	24/08/1989	1,46		60	25	07/08/1958	1,46
61	30	07/08/1958	1,49		61	24	26/08/1989	1,49
62	30	19/08/1969	1,51		62	23	03/08/1986	1,51
63	30	05/09/1985	1,54		63	23	19/08/1969	1,54
64	28	21/08/1988	1,56		64	22	05/09/1985	1,56
65	24	23/08/1989	1,59		65	21	06/09/1985	1,59
66	22	06/09/1985	1,61		66	18	23/08/1989	1,61
67	20	27/08/1962	1,63		67	16	27/08/1962	1,63
68	16	14/08/1965	1,66		68	13	14/08/1965	1,66

CLASSEMENT DES INTENSITES MAXIMA INTERVALLE DE REFERENCE 0H30				CLASSEMENT DES INTENSITES MAXIMA INTERVALLE DE REFERENCE 1H30			
N° DE CLASSE	I (mm/h)	DATE	f=m/(n+1)	N° DE CLASSE	I (mm/h)	DATE	f=m/(n+1)
1	79,6	13/10/1962	0,02439	1	56,4	621013	0,02439024
2	71	03/08/1962	0,04878	2	51	620803	0,04878049
3	64,5	29/08/1987	0,07317	3	48	870829	0,07317073
4	54	17/08/1976	0,09756	4	36,67	690831	0,09756098
5	50,5	09/10/1966	0,12195	5	33,66667	661009	0,12195122
6	49,5	09/10/1962	0,14634	6	33,33333	581001	0,14634146
7	44	28/07/1969	0,17073	7	31,33333	750728	0,17073171
8	44	13/09/1969	0,19512	8	31,33333	950823	0,19512195
9	43,5	01/10/1958	0,21951	9	30,33	690728	0,2195122
10	42	23/08/1995	0,2439	10	29,33	690913	0,24390244
11	41	09/10/1962	0,26829	11	29	800903	0,26829268
12	40,5	24/09/1976	0,29268	12	28,66667	690718	0,29268293
13	39,5	03/09/1980	0,31707	13	28,66667	580806	0,31707317
14	39,5	28/07/1975	0,34146	14	28,66667	580803	0,34146341
15	39	18/07/1969	0,36585	15	28,66667	610927	0,36585366
16	39	24/08/1987	0,39024	16	28	660919	0,3902439
17	39	30/08/1981	0,41463	17	27,66667	840920	0,41463415
18	37	03/08/1958	0,43902	18	27,66667	621009	0,43902439
19	35	06/08/1958	0,46341	19	27,13333	610927	0,46341463
20	35	20/09/1984	0,4878	20	27	760924	0,48780488
21	35	21/09/1994	0,5122	21	27	810830	0,51219512
22	34,7	27/09/1961	0,53659	22	27	870824	0,53658537
23	34,7	27/09/1961	0,56098	23	26	690921	0,56097561
24	34,5	25/09/1976	0,58537	24	25,33333	750810	0,58536585
25	34,5	13/08/1965	0,60976	25	25	650813	0,6097561
26	34	01/08/1981	0,63415	26	25	810801	0,63414634
27	33,5	19/09/1966	0,65854	27	23	760925	0,65853659
28	32	22/08/1967	0,68293	28	22,33333	670822	0,68292683
29	31	12/07/1956	0,70732	29	21	560712	0,70731707
30	30,5	17/08/1984	0,73171	30	21	600812	0,73170732
31	29	02/08/1988	0,7561	31	21	890802	0,75609756
32	28,5	12/08/1960	0,78049	32	21	890824	0,7804878
33	28	10/08/1975	0,80488	33	20,66667	840817	0,80487805
34	27	06/08/1987	0,82927	34	20,33333	890826	0,82926829
35	27	09/10/1957	0,85366	35	19,66667	580820	0,85365854
36	27	19/07/1979	0,87805	36	19,33333	880802	0,87804878
37	26,5	21/09/1969	0,90244	37	18,67	690819	0,90243902
38	26	02/08/1989	0,92683	38	18,66667	571009	0,92682927
39	25,5	25/08/1995	0,95122	39	18,33333	580821	0,95121951
40	24,5	21/08/1958	0,97561	40	18,33333	880821	0,97560976
41	24	26/08/1989	1	41	18	790719	1
42	23,5	21/08/1988	1,02439	42	18	870806	1,02439024
43	23	24/08/1989	1,04878	43	18	950825	1,04878049
44	23	09/09/1967	1,07317	44	17,67	690820	1,07317073
45	22,5	20/08/1969	1,09756	45	17,66667	670909	1,09756098
46	22	25/09/1962	1,12195	46	15,66667	850905	1,12195122
47	21	20/08/1958	1,14634	47	15,33333	620925	1,14634146
48	21	02/09/1967	1,17073	48	14,66667	880816	1,17073171
49	20	16/08/1988	1,19512	49	14,3	630809	1,19512195
50	20	20/09/1994	1,21951	50	14	580807	1,2195122
51	19,2	09/08/1963	1,2439	51	14	670902	1,24390244
52	19	19/08/1969	1,26829	52	13,66667	940920	1,26829268
53	19	05/09/1985	1,29268	53	13	720913	1,29268293
54	19	07/08/1958	1,31707	54	12,33333	570909	1,31707317
55	18,5	13/09/1972	1,34146	55	12,33333	840925	1,34146341
56	18,5	25/09/1984	1,36585	56	11,66667	850906	1,36585366
57	16	18/09/1976	1,39024	57	11,33333	840909	1,3902439
58	16	09/09/1984	1,41463	58	11,33333	860803	1,41463415
59	15,3	09/09/1957	1,43902	59	11	760918	1,43902439
60	14,5	06/09/1985	1,46341	60	10,75	690922	1,46341463
61	14,5	03/08/1986	1,4878	61	8,333333	890823	1,48780488
62	14,33	22/09/1969	1,5122	62	7,666667	620827	1,51219512
63	11	23/08/1989	1,53659	63	7,666667	650814	1,53658537
64	11	14/08/1965	1,56098				
65	10	27/08/1962	1,58537				

CLASSEMENT DES INTENSITES MAXIMA  
INTERVALLE DE REFERENCE 2H00

N° DE CLASSE	I (mm/h)	DATE	f=m/(n+1)
1	42,3	621013	0,02439024
2	41	620803	0,04878049
3	36,5	870829	0,07317073
4	29,25	690831	0,09756098
5	28,667	610927	0,12195122
6	27,5	580806	0,14634146
7	25,5	581001	0,17073171
8	25,25	661009	0,19512195
9	25	750728	0,2195122
10	24,5	950823	0,24390244
11	24,25	690718	0,26829268
12	24	690728	0,29268293
13	23	660919	0,31707317
14	23	580803	0,34146341
15	22,75	800903	0,36585366
16	22,6	610927	0,3902439
17	22	690913	0,41463415
18	21,75	840920	0,43902439
19	21,35	560712	0,46341463
20	21	621009	0,48780488
21	20,75	760924	0,51219512
22	20,5	750810	0,53658537
23	20,5	810801	0,56097561
24	20,5	870824	0,58536585
25	20,25	690921	0,6097561
26	20,25	810830	0,63414634
27	19,75	650813	0,65853659
28	19,5	890824	0,68292683
29	18,25	760925	0,70731707
30	17,25	670822	0,73170732
31	17,25	890802	0,75609756
32	16,75	600812	0,7804878
33	16,75	690819	0,80487805
34	16	580820	0,82926829
35	16	890826	0,85365854
36	15,75	840817	0,87804878
37	14,5	580821	0,90243902
38	14,5	880802	0,92682927
39	14,5	950825	0,95121951
40	14,25	670909	0,97560976
41	14,25	571009	1
42	14,25	880821	1,02439024
43	13,5	690820	1,04878049
44	13,5	790719	1,07317073
45	13,5	870806	1,09756098
46	12,25	850905	1,12195122
47	11,6	630809	1,14634146
48	11,5	620925	1,17073171
49	11,25	880816	1,19512195
50	10,75	580807	1,2195122
51	10,75	670902	1,24390244
52	10	570909	1,26829268
53	10	850906	1,29268293
54	10	860803	1,31707317
55	9,75	720913	1,34146341
56	9,75	760918	1,36585366
57	9,5	840909	1,3902439
58	9,25	840925	1,41463415
59	7,25	620827	1,43902439
60	7,17	690922	1,46341463
61	6,5	890823	1,48780488
62	6	650814	1,51219512

CLASSEMENT DES INTENSITES MAXIMA  
INTERVALLE DE REFERENCE 3H00

N° DE CLASSE	I (mm/h)	DATE	f=m/(n+1)
1	28,2	621013	0,02439024
2	25,6666667	870829	0,04878049
3	22,75	610927	0,07317073
4	21,1666667	690718	0,09756098
5	20,8333333	661009	0,12195122
6	20,17	690831	0,14634146
7	19,5	580806	0,17073171
8	18,6666667	890824	0,19512195
9	18,1666667	581001	0,2195122
10	17,3333333	950823	0,24390244
11	17	660919	0,26829268
12	16,8333333	580803	0,29268293
13	16,67	690728	0,31707317
14	16,4	610927	0,34146341
15	16	800903	0,36585366
16	16	840920	0,3902439
17	15,1666667	810801	0,41463415
18	15	690819	0,43902439
19	14,8333333	600812	0,46341463
20	14,67	690913	0,48780488
21	14,5666667	560712	0,51219512
22	14,17	690921	0,53658537
23	14,1666667	650813	0,56097561
24	14	760924	0,58536585
25	13,6666667	750810	0,6097561
26	13,6666667	870824	0,63414634
27	13	880821	0,65853659
28	12,5	670822	0,68292683
29	12,3333333	760925	0,70731707
30	11,1666667	890826	0,73170732
31	10,8333333	840817	0,75609756
32	10,6666667	670909	0,7804878
33	10,6666667	580820	0,80487805
34	10	860803	0,82926829
35	9,8333333	580807	0,85365854
36	9,667	790719	0,87804878
37	9,6666667	950825	0,90243902
38	9,6666667	580821	0,92682927
39	9,5	571009	0,95121951
40	9	690820	0,97560976
41	9	870806	1
42	8,7	630809	1,02439024
43	8,1667	760918	1,04878049
44	8,1666667	850905	1,07317073
45	8,1666667	850906	1,09756098
46	7,6666667	620925	1,12195122
47	7,1666667	570909	1,14634146
48	7,1666667	670902	1,17073171
49	6,6666667	720913	1,19512195
50	6,1666667	620827	1,2195122
51	5,38	690922	1,24390244
52	5	650814	1,26829268
53	4,3333333	890823	1,29268293

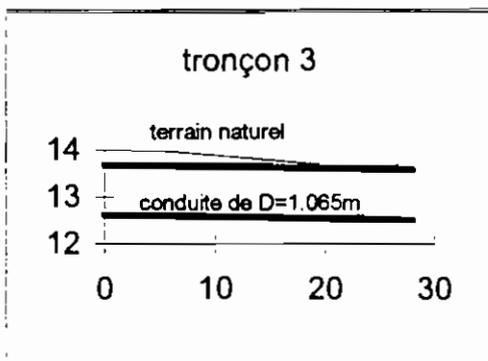
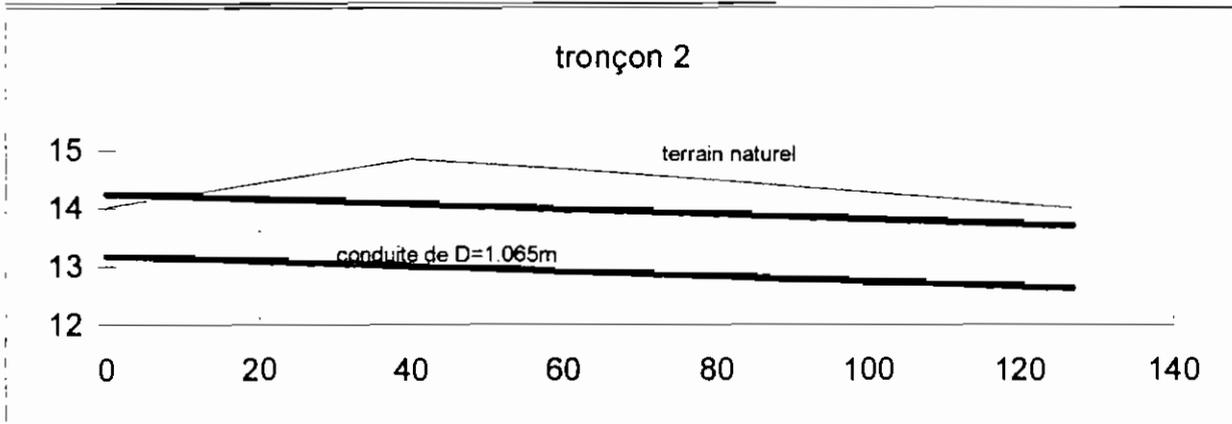
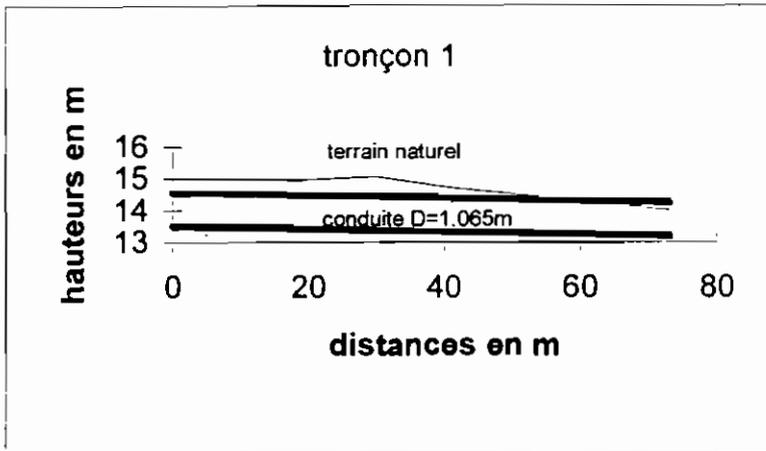
CLASSEMENT DES INTENSITES MAXIMA INTERVALLE DE REFERENCE 4H00				CLASSEMENT DES INTENSITES MAXIMA INTERVALLE DE REFERENCE 5H			
N° DE CLASSE	I (mm/h)	DATE	f=m/(n+1)	N° DE CLASSE	I (mm/h)	DATE	f=m/(n+1)
1	21,275	621013	0,025	1	16,4	890824	0,025
2	19,5	870829	0,05	2	15,6	870829	0,05
3	18,25	690718	0,075	3	12,8	661009	0,075
4	17,125	890824	0,1	4	12,3	580806	0,1
5	15,875	661009	0,125	5	12,2	600812	0,125
6	15,25	690831	0,15	6	12,2	690831	0,15
7	15,125	580806	0,175	7	12,1	690819	0,175
8	14,875	600812	0,2	8	11,9	581001	0,2
9	14,625	581001	0,225	9	11,2	660919	0,225
10	14	690819	0,25	10	10,7	950823	0,25
11	13,625	660919	0,275	11	10,1	800903	0,275
12	13,375	950823	0,3	12	9,9	760924	0,3
13	13	690728	0,325	13	9,5	810801	0,325
14	12,5	840920	0,35	14	9,2	690913	0,35
15	12,375	800903	0,375	15	9,1	650813	0,375
16	11,875	810801	0,4	16	8,7	580807	0,4
17	11,625	760924	0,425	17	8,5	690921	0,425
18	11,5	690913	0,45	18	7,7	570909	0,45
19	11,25	650813	0,475	19	7,6	670822	0,475
20	10,625	690921	0,5	20	7,1	670909	0,5
21	10,125	880821	0,525	21	6,8	720913	0,525
22	9,5	580807	0,55	22	6,5	580821	0,55
23	9,5	860803	0,575	23	6,4	580820	0,575
24	9,375	670822	0,6	24	6,1	670902	0,6
25	8,5	670909	0,625	25	6	850906	0,625
26	8,25	720913	0,65	26	5,9	790719	0,65
27	8	580820	0,675	27	5,8	950825	0,675
28	7,625	670902	0,7	28	5,5	870806	0,7
29	7,5	580821	0,725	29	5,2	630809	0,725
30	7,375	790719	0,75	30	4,8	620827	0,75
31	7,25	950825	0,775	31	4,74	620925	0,775
32	7,175	570909	0,8	32	3,58	690922	0,8
33	7,125	690820	0,825	33	3,2	650814	0,825
34	7,125	760918	0,85	34	2,6	890823	0,85
35	7	850906	0,875				
36	6,75	870806	0,9				
37	6,3	630809	0,925				
38	6,125	850905	0,95				
39	5,75	620925	0,975				
40	5,375	620827	1				
41	4,3	690922	1,025				
42	3,875	650814	1,05				
43	3,25	890823	1,075				

**ANNEXE 5**

**Profils en long des collecteurs**

## ANNEXE 5 : profils en long des collecteurs

collecteur reliant le bassin du stade au bassin de l'échangeur



profil en long du collecteur principal

